الإنسان

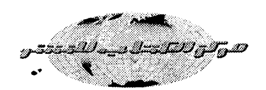
في مجال العلم والتكنولوجيا

الدكتور
محـــمد الجـــزار

١٤٢٦ هـ - ٢٠٠٦م

مركز الكتاب للنشر

الطبعة الأولى
٢٠٠٦م



مصر الجديدة: ٢١ شارع الخليفة المأمون - القاهرة
تليفون: ٢٩٠٨٢٠٣ - ٢٩٠٦٢٥٠ - فاكس: ٢٩٠٦٢٥٠

مدينة نصر: ٧١ شارع ابن النفيس- المنطقة السادسة - ت: ٢٧٢٣٣٩٨

http://www.top25books.net/bookcp.asp.
E-mail:bookcp@menanet.net



المحتـــويات

مقدمة

تُعرِّف موسوعة المعرفة الأمريكية كلمة علم/ علوم Science بأنها: المعرفة الثابتة والقاطعة والمنظمة منهجيًّا، والتي لا يعتريها الشك Systematized Positive knowledge.

أما كلمة تكنولوجيا Technology فهي مشتقة من الكلمة الإغريقية Techne بمعنى المهارة أو البراعة الحرفية Craft، أي إن التكنولوجيا تعني سلسلة العمليات الصناعية التي تنجح في إتمام العمليات اليدوية بارعة المهارة، أو بمنظور عام: كل سلسلة العمليات المتصلة بالمادة Materials. وفي الثقافة العربية يرتبط كلٌّ من العلوم والتكنولوجيا معًا، ولكن بتحديد أكثر تختص العلوم بمجالات عديدة في كل حياة الإنسان مثل: الطبيعة، الكيمياء، الرياضيات، الأحياء، الفلك، الجيولوجيا، .. إلخ، أما التكنولوجيا فتختص بتقنيات التصنيع، وبسلسلة العلميات التي تتم بنجاح في كل مجالات العلوم. وإذا كان كل من العلوم والتكنولوجيا معرفة في الأساس، فهما فكر إنساني يتغنى بهما الإنسان نتيجة الوصول إلى درجة متقدمة فيهما من خلال التقدم الحضاري الذي عاش فيه منذ الحضارات الأولى في الشرق الأوسط (الفرعونية، وبلاد بين النهرين)، وفي الشرق الأقصى (الصين، والهند). لقد مر العقل البشري بقرونٍ طويلة من تدوين الملاحظات ودراستها وتحليلها، وكد وتعب للوصول إلى الاكتشافات والاختراعات ليصل إلى حضارته الحالية والمستمرة.

بدأ الإنسان تفسير الظواهر الطبيعية من منظور القوى الخفية المجهولة له في ذلك

الوقت، ثم من خلال الميتافيزيقيا Metaphysics أي عالم ما وراء الطبيعة، ساد هذا المفهوم الحضارات القديمة وأصبح سمة مميزة للفكر الإنساني إلى أن ظهر جيل فلاسفة المنطق، فكانوا أول من فسر هذه الظواهر من خلال قوى طبيعية ملموسة. ومع بداية القرن السادس قبل الميلاد كانت تفسيرات الإغريق مبنية على المشاهدة والاستنتاج، وإن ظل دور الميتافيزيقا مؤثرًا في فكرهم. لقد كانت المحاولات الأولى من المشاهدة والاستنتاج هي الجذور التي نبعت منها شجرة المعرفة وفلسفة العلم، والتي ترعرعت بعد ذلك حتى وصلت إلى الشكل المتشعِّب لمجالات العلم المتعددة وعلى الصورة التي هي عليها في بدايات القرن الحادي والعشرين.

وفي الإمكان تتبع بداية العلوم من خلال الدراسات الأنثروبولوجية Anthropology، وعلم الآثار والحضارات القديمة Archaeology. ومن الصعب تتبع التسلسل التاريخي للاكتشاف والاختراعات، ولكن من خلال النقوش ورسومات الكهوف التي تركها لنا الإنسان الأول، ومن خلال برديات قدماء المصريين باللغة الهيروغليفية، وتدوين أحداث حضارات بين النهرين باللغة المسمارية، وحفريات وكتابات حضارات الهند والصين القديمة، وحضارات أمريكا الوسطى وأمريكا الجنوبية (المايا والأزتيك)، يمكن استيفاء بعض المعلومات عن بداية علوم الفلك والرياضة والهندسة، وكيف استخرج إنسان الحضارات القديمة المعادن من خام الحديد والبرونز، ثم عن طريق صهرها وتشكيلها استطاع أن يصنع منها أدواته وأسلحته. ويمكن أيضًا التعرف على كيفية قيام الإنسان بتسيير قواربه أو سفنه في الأنهار والبحار، وكيف استخدم العجلات الحجرية والخشبية في صنع العربات بأشكالها البدائية للنقل والركوب، وكيف تعلم الزراعة وصيد الحيوانات والأسماك، وكيف طور اللغة والأعراف والقوانين، وكيف أوجد القيم الأخلاقية قبل نزول الأديان السماوية. ومن الممكن استيعاب وفهم التعريف السابق لتاريخ العلوم من خلال الأطر العامة لتجارب الإنسان مع الفروع المختلفة للعلوم، والتي تجمعت وتطورت وتعقدت مع مسيرة الإنسان التاريخية. إن الفهم الصحيح لتاريخ العلوم لا

يأتي من التسلسل التاريخي، ولكنه يأتي من التطور العملي، بغض النظر عن أن هذا التطور قد حدث في أزمنة متعاقبة أو من خلال فترات متباعدة زمنيًّا.

حدث تقهقر وكمون في مجال العلم بعد وفاة العالم المصري اليوناني توليمي الإسكندراني في العام المائة قبل الميلاد، واستمر هذا الكمون حتى بزوغ الحضارة الإسلامية في القرن الثامن الميلادي.

قام العلماء العرب بالترجمة إلى العربية جميع الكتب الفلسفية والعلمية والأدبية للفلاسفة والعلماء والأدباء الإغريق والهنود والفرس. وصلت الحضارة العربية/ الإسلامية إلى أقصى أوجها وازدهارها في مجال العلم في القرنين العاشر والحادي عشر الميلاديين، ثم بدأ الثبات والجمود، أعقبه الانحدار والتخلف في القرن الخامس عشر.

كان التعليم الأوَّلي في الحضارة العربية يهدف إلى تقويم الأخلاق، ثم يبدأ التعليم الثانوي بالتركيز على العلوم، وتكفلت الدولة بالإشراف والإنفاق على هذه المدارس، وأضيف إلى المناهج الدينية علم النحو وفقه اللغة، والبلاغة والأدب، والمنطق والعلوم الرياضية، والفلك والعلوم الأخرى. كان التعليم في ذلك الوقت بالمجان، وكان المعلمون والطلاب يحصلون على رواتبهم ونفقات معيشتهم من إماراتهم أو من أموال البر والصدقات. وكان من العادة على طلاب العلم أن يجوبوا أطراف البلاد الإسلامية ليقابلوا معلمًا مشهورًا، وكان على كل طالب علم يريد أن تعلو مكانته في بلده أن يسافر إلى مكة أو بغداد، أو دمشق، أو القاهرة ليستمع في واحدة من هذه المدن أو أكثر إلى كبار العلماء.

عندما فتح العرب المسلمون سمرقند في عام (٧١٢) الميلادي تعرفوا على صناعة استخراج عجينة من الكتان وغيره من النباتات ذات الألياف، ثم تجفيف هذه العجينة بعض صنعها في شكل رقائق رفيعة، لقد وُجد هذا النوع من الورق في الصين في العام الأول الميلادي قبل انتقاله إلى سمرقند. دخلت هذه الصناعة بلاد الشرق الأوسط

والشرق الأدنى واستعملت في الكتابة بدلاً من رقائق الجلد في القرن الثامن الميلادي في وقت لم يكن فيه نبات البردي قد اختفى من الاستعمال، افتتح أول مصنع للورق في بلاد العرب في بغداد عام (٧٩٤م) على يد الفضل بن يحيى وزير هارون الرشيد، ونقل العرب هذه الصناعة إلى صقلية وإسبانيا ومنها انتقلت إلى إيطاليا وفرنسا. يسَّر هذا الاختراع تأليف الكتب وانتشارها في كل بلد انتقل إليه، وساعد على تطور العلوم والأبحاث من خلال انتشار الكتب العلمية والدوريات.

شجَّع الأمراء من بني أمية وبني العباس التطبيع العلمي المثمر، إذ تركوا المدارس الكبرى المسيحية والصائبية والفارسية، قائمة في الإسكندرية وبيروت وأنطاكية وغيرها من المدن، لم يمسوها بأذى.

وأرسل المنصور والمأمون والمتوكل الرسل إلى القسطنطينية وغيرها من المدن الإغريقية الطابع، كما أرسلوهم إلى بلاد الروم أعدائهم القدامى يطلبون إمدادهم بالكتب وخاصة في مجال الطب والعلوم الرياضية، وبذلك وصل كتاب إقليدس في الهندسة إلى أيدي المسلمين العرب، وأنشأ المأمون في بغداد عام ٨٣٠ «بيت الحكمة» وهو مجمع علمي ومرصد فلكي، ومكتبة عامة، وأقام فيه طائفة من المترجمين وأجرى عليهم الأرزاق من بيت المال.

كان محمد بن موسى المعروف بالخوارزمي، في القرن التاسع الميلادي من أشهر العلماء المسلمين، فمن اسمه اشتقت كلمة الحساب في اللغة اللاتينية Algorithm، فهو الذي طور طريقة حسابية تقوم على العدية العشرية، وهو الذي وضع أقدم الجداول في حساب المثلثات، وأورد في كتاب «حساب الجبر والمقابلة» حلولاً تحليلية وهندسية لمعادلات الدرجة الثانية، وقد انتقلت كلمة الجبر إلى اللاتينية Algebra.

وفي نفس القرن اشتهر ثابت بن قرة بمؤلفاته في الفلك والطب، وارتقى أبو عبد الله البتاني في القرن العاشر الميلادي بعلم حساب المثلثات، وذلك باستبدال المثلثات

بالمربعات في حل المسائل، واستبدال جيب الزاوية بالقوس. واستخدم المأمون جماعة من الفلكيين ليرصدوا الأجرام السماوية، كما قاموا برصد الشمس من موقعين مختلفين في وقت واحد وذلك للتوصل إلى مسافة درجة الميل لكروية الأرض. وعاش أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني في القرنين العاشر والحادي عشر الميلاديين كعالم في الطبيعيات والفلك، فقد كان يعتقد أن الحقائق الفلكية يمكن تفسيرها إذا كانت الأرض تدور حول محورها مرة في كل يوم، وحول الشمس مرة في كل عام. وعين البيروني الكثافة النوعية لثمانية عشر نوعًا من الأحجار الكريمة، ووضع القاعدة التي تنص على أن الكثافة النوعية للجسم تتناسب مع حجم الماء الذي يزيحه، وشرح أسباب خروج الماء من العيون الطبيعية والآبار الإرتوازية بنظرية الأواني المستطرقة.

يعتبر المسلمون/ العرب هم الذين ابتدعوا علم الكيمياء بإدخالهم التجارب العلمية ورصد النتائج. لقد ميز العلماء العرب بين القلويات والأحماض حتى إن كلمة الكحول في اللغة الإنجليزية Alcohol مشتقة من اللغة العربية، ودرسوا المئات من العقاقير الطبية وقاموا بتركيب العديد منها. وكان علم تحويل المعادن إلى ذهب، الذي أخذه العرب من مصر هو الذي أوصلهم إلى علم الكيمياء الحقيقي، وذلك عن طريق مئات الكشوف التي تبيَّنوها مصادفة. وكان أشهر الكيميائيين جابر بن حيان في القرن الثامن الميلادي، والذي اشتغل بالطب في بداية حياته ثم تحول إلى الكيمياء. أما بالنسبة لعلم الأحياء فقد تفوق أبو حنيفة الدينوري بمؤلفه «كتاب النبات»، وعرف علماء الأحياء العرب طريقة إنتاج فواكه جديدة بطريقة التطعيم، وجمعوا بين شجرة الورد وشجرة اللوز، وأوجدوا بطريقة التطعيم أزهارًا نادرة.

كان المسلمون أول من أنشأ مخازن الأدوية والصيدليات، وهم الذين أنشئوا أول مدرسة للصيدلة. وكان الأطباء المسلمون متحمسين في دعوتهم إلى الاغتسال والاستحمام، وخاصة عند الإصابة بالحميات، وإلى استخدام حمام البخار. ولم يختلف الطب الحديث كثيرًا عن وصف العلاج للجدري والحصبة، كما استخدموا التخدير بالاستنشاق في بعض العمليات الجراحية، واستعانوا بالحشيش وغيره من

المخدرات في بعض العمليات الجراحية وعلى النوم العميق. وانتشرت في البلاد الإسلامية مدارس الطب، ولم يكن القانون يجيز لإنسان أن يمارس هذه الصناعة إلا إذا تقدم إلى امتحان يعقد لهذا الغرض ونال إجازة ممارسة المهنة من الدولة، ويعتبر أبو بكر محمد الرازي (٨٤٤-٩٢٦م) من أشهر الأطباء المسلمين في تلك الفترة، وقد ألف مائة وواحدًا وثلاثين كتابًا نصفها في الطب، ومن أشهر كتبه «الحاوي» وهو كتاب في عشرين مجلدًا، كما كانت رسالته في الجدري والحصبة آية في الملاحظة المباشرة والتحليل الدقيق، وكشف الرازي طرقًا جديدة في العلاج كمرهم الزئبق، واستخدم أمعاء الحيوان في التقطيب. وكان أبو علي الحسين بن سينا (٩٨٠-١٠٣٧م) من أعظم فلاسفة الإسلام ومن اشهر أطبائه، وله مؤلفات في أكثر فروع العلم، ولابن سينا كتابان رئيسيان يشتملان على تعاليمه كلها أولهما كتاب «الشفاء»، وهو موسوعة في ثمانية عشر مجلدًا في العلوم الرياضية والطبيعة وما وراء الطبيعة، وعلوم الدين، والاقتصاد، والسياسة، والموسيقى. أما الكتاب الثاني الهام لابن سينا فهو كتاب «القانون في الطب» وهو بحث في وظائف الأعضاء، وعلم الصحة، والعلاج. واحتوى هذا الكتاب على فصول عن طريق الوقاية والوسائل الصحية العامة والخاصة، والعلاج بالحقن الشرجية والحجامة، والكي والاستحمام، والتدليك، وكان ابن سينا ينصح بالتنفس العميق، وبالصياح من حين إلى آخر لتقوية الرئتين والصدر واللهاة. احتوت كتب ابن سينا أيضًا بحوثًا قيمة عن النزلات المعوية، والأمراض التناسلية، والأمراض العصبية، والحميات، والجراحة، ووسائل العناية بالشعر والجلد، وتَطَرَّق ابن سينا في كتبه لعلم العقاقير، فقد أورد فيها طرق تركيب سبعمائة وستين نوعًا من العقاقير.

واكب التطور في الكيمياء والطب تطورًا آخر موازيًا في الصيدلة أي فن تحضير الدواء. وكلمة «صيدلة» في اللغة العربية معرَّبة من أصل هندي وهو جندل أو جندن بعد أن قلبت حرف الجيم إلى صاد. وشملت الصيدلة في العصور الوسطى بالإضافة إلى تحضير الأدوية صناعة العطور والمشروبات الكحولية والغير كحولية. أما كلمة

«أجزخانة» فهي تركية مكونة من مقطعين أولهما «أجزا» بمعنى دواء، ثم «خانة» بمعنى دار أو مكان، واشتقت كلمة صيدلية في اللغات الأوروبية من الكلمة اليونانية فارماكون Pharmakon، والتي اشتقت بدورها من اللغة الهيروغليفية الفرعونية فا-آر-ماكي Ph-ar-maki، ومعناها صناعة وتحضير الدواء. وتحورت هذه الكلمة في اللغة الإنجليزية إلى Pharmacy، وفي اللغة الفرنسية إلى Pharmacie، والألمانية Pharmozie، وتعرف الصيدلية أيضًا في بعض البلاد باسم أبو تيكا نسبة إلى بلدة أبو تيج في محافظة أسيوط بمصر، حيث كان الفراعنة ومن بعدهم الرومان يخزنون فيها الأعشاب الطبية.

تحول ركب الحضارة إلى الغرب، تاركًا الشرق يجترّ ذكريات حضارته القديمة. بدأت في أوروبا حضارة جديدة تتحسس ببطء طريقها من خلال معرفة أخذت في الانتشار، وعقول تطلعت إلى التحرر من نير الأساطير والقيود العقائدية، ونبعت الحضارة الأوروبية من العلم والتفكير المنطقي بالرغم من المقاومة التي واجهتها من أباطرة عهود الظلام، الرافضين للتحديث والتجديد والحرية. لقد بدأ العقل الخروج من قمقمه، فحلت الاكتشافات، وتوالت الاختراعات، ولقد ساعد التطور في عملية الطباعة، والنمو المتصاعد في صناعة الورق على انتشار المعرفة من خلال الكتب والدوريات العلمية، والموسوعات. لم يكتفِ الإنسان بالجِمَال أو العربات التي يجرها الحصان أو المراكب التي تسير بالمجداف، فظهرت السفن ذات الأشرعة القوية لتعبر البحار والمحيطات، واكتشف الإنسان الصلب وطاقة البخار، فأنشأ السكك الحديدية والكباري لتضييق المسافات بين الشعوب وزيادة معدلات الارتحال وتبادل المعرفة والثقافة والالتقاء الدوري في ندوات ومؤتمرات.

كانت القرون الأولى من النصف الثاني للألفية الثانية هي بداية الثورة العلمية والانقلاب الصناعي في الغرب، لقد كانت قرون الاكتشاف والاختراعات، وظهر في بدايات هذه القرون كوبرنيكس وجاليليو رائدين لعلم الفلك، كما ظهر إسحاق نيوتن مكتشف قوانين الحركة والجاذبية، والرياضي الفرنسي ديكارت، وهارفي

مكتشف الدورة الدموية، وليوينهوك مكتشف العالم الميكروسكوبي، والكيميائي بويل، وغيرهم. جاءت القرون التالية بغيرهم من العلماء والمخترعين من أمثال عالم الطبيعة وأصل الأنواع تشارلز داروين، وعالم الوراثة جيمس مندل، وفي علم الفيزياء الفرنسي أندريه أمبير بأبحاثه في المغناطيسية، والإسكتلندي جيمس وات مخترع الآلة البخارية ورائد الثورة الصناعية الأولى، والعالم الألماني نيكول أوتو مخترع آلة الاحتراق الداخلي، والإيطالي مايكل فاراداي صانع أول محرك كهربي، وعالم الفيزياء جيمس ماكسويل بأبحاثه في مجال الكهرومغناطيسية، والفيزيائي بيير لابلاس والرياضي كارل جاوس. ويواصل القرن العشرون تقدمه بمزيد من الإنجازات العلمية، وظهر في هذا القرن الفيزيائي الألماني ماكس بلانك مبتكر نظرية الكم، وعالم الذرة البريطاني إيرنست ريذرفورد، والعالم العظيم ألبرت أينشتين، وعالم الفيزياء أنريكو فيرمي، وعالم الفلك الأمريكي أدورين هوبل، والألماني فون بروان مخترع الصاروخ، وغيرهم من عباقرة القرن العشرين.

كانت الفلسفة التي سادت مجال العلم في أوائل القرن العشرين هي التجريبية المنطقية Logical Empiricism، منهجها أسلوب الافتراض الاستنباطي، كما كان الاختبار المتكرر أفضل معيار للتحكم في صلاحية النظريات العلمية. بدأت الفلسفة الحديثة عام ١٩٤٨ في بحث اشترك في كتابته كارل همبل Hempel، وبول أوبنهيم Oppenhim، ثم أعاد همبل نشره مفصلاً بعد ذلك في ستينيات القرن العشرين، حيث قدم نموذجًا جديدًا للتفسير العلمي أسماه «النموذج الاستنباطي المستند إلى المسلمات الكونية والمنطقية Deductive Nomological Model». يعتمد هذا المنهج في التفسير العلمي على الربط بين واحد أو أكثر من القوانين الكونية الدقيقة والحقائق التي تم التوصل إليها؛ وبناءً على ذلك تكون النظرية العلمية صياغة لعدد من المسلّمات المبنية على أساس أحد القوانين. تطور نموذج همبل بعد ذلك ليتواءم مع القوانين الإحصائية ومذاهب الاحتمالية.

وأخيرًا، يهتم الإنسان بالعلوم لأسباب عديدة، ولكن يبرز سببان رئيسيان،

أولهما إشباع الرغبة في حب الاستطلاع وفهم الكون الذي نعيش فيه فهمًا عقليًّا، وثانيهما: استخدام العلم للتحكم في العالم وما فيه من قوى وموارد من أجل حياة أفضل لجميع الكائنات التي أوجدها الخالق. تحقق رؤى الإنسان بواسطة العقل والفكر المنطقي، الشيء الوحيد الذي يميز البشر عن باقي المخلوقات حتى الآن، والذي صوره الفيلسوف الألماني هيجل في تلك الكلمات: إن الفكرة الوحيدة التي تجيئنا بها لنا الفلسفة هي هذه الفكرة البسيطة التي تحملها كلمة العقل، ألا وهي أن العقل يحكم العالم، وبالتالي فإن التاريخ الكلي الشامل قد تطور على نحو عقلي.



علم الطبيعة

تاريخ الفيزياء

يعني علم الفيزياء/الطبيعة Physics: التغيير في جوهر الشيء وصفاته وحركاته، ويبحث هذا العلم في فروع عديدة، من أهمها: الميكانيكا Mechanics، البصريات Optics، الكهرباء Electricity، المغناطيسية Magnetism، الصوتيات Acoustics، الحرارة Heat، الفيزياء الذرية Atomic Physics، وخلافه في جميع مجالات الأشياء المادية والإشعاعية والموجات. ترتبط المجالات السابق ذكرها بمفهوم الإنسان للكتلة Mass، والقوة Force، والسرعة Speed، والعجلة Acceleration، والشحنة Charge، والطاقة Energy، بجميع صورها وتحويلاتها.

تشارك علوم أخرى في التطبيقات الفيزيائية وتساهم في تطور إدراك الإنسان لها وحل أسرارها الغائبة عن العقل البشري، وتتضمن هذه العلوم: علم الفلك Astronomy، وعلم طبيعة الأرض Geophysics، والفيزياء الكيميائية Physical Chemistry، والفيزياء الأحيائية Biophysics، وديناميكا الهواء Aerodynamics، والطاقة بجميع صورها وتحويلاتها، وديناميكا الماء Hydrodynamics ، وفيزياء البلازما Plasma-physics، وفيزياء الجوامد Solid state وتعتمد الدراسات والبحوث الفيزيائية على العلوم الرياضية والهندسية، وعلى أجهزة وآلات الاختبار التي اخترعها الإنسان طوال رحلته في المنظومة الكونية.

بالرجوع إلى التاريخ القديم، يمكن تبويب وتجميع أفكار النظريات الأساسية الخاصة بالعمليات الفيزيائية في ثلاث مجموعات طبقًا لثلاثة اتجاهات مختلفة تنظر إلى مفهوم الكون، وهي المذهب الذري Atomism، والمذهب الأفلاطوني Platonism، ومذهب أرسطوطاليس Aristotelianism وبالرغم من مرور أكثر من ألفيْ سنة على هذه المذاهب الفلسفية، إلا أنها قد لعبت دورًا هامًّا في تاريخ الفيزياء، حتى إن تأثيرها ما زال قائمًا وإن كان بدرجة أقل على الفيزياء الحديثة.

المذهب الذري

طبقًا للمعتقدات الإغريقية القديمة، ذهب الفلاسفة: لوسيبوس، وديمقراطيس، وإبيقريوس في القرن الخامس قبل الميلاد إلى أن الكون يتكون من جزئيات صغيرة ذرات تتحرك في جميع الاتجاهات في الفضاء الخالي. أرجع الفلاسفة الإغريق الخواص الفيزيائية المختلفة للمواد مثل اللون والرائحة إلى الأحجام والأشكال المختلفة لهذه الجسيمات المادية الصغيرة، وإلى التجمعات والتركيبات المختلفة التي تشكلها. واعتقد هؤلاء الفلاسفة أيضًا في أن الضوء ما هو إلا انبعاث لهذه الجسيمات من السطح المادي الذي يشع الضوء في رحلة خلال الفضاء نحو عيون البشر، وأن الاختلاف في أشكال وصور الأشياء الكونية تأتي من حركة هذه الجسيمات (الذرات)، وأن العالم كله بما فيه من كائنات حية أو غير حية ما هو إلا حركة ذرات.

المذهب الأفلاطوني

اعتقد الفيلسوف الإغريقي أفلاطون أنه يمكن للإنسان أن يدرك الصورة المثالية للعالم بصورة تقريبية عن طريق الحس العام Common Sense، ثم على العلماء أن يستخدموا ذكاءهم العقلي/ العلمي في النفاذ إلى داخل الأشياء الظاهرة لاكتشاف الأشكال المختلفة التي تكوِّن (الصورة المثالية للعالم).

كمثال لذلك، فإن عالم الفلك يجب أن يحاول عرض ما يشاهده من حركة النجوم والكواكب، والشمس والقمر، من مضمون الحركة الدائرية المنتظمة حيث إن

الشكل المثالي لحركة هذه الأجرام السماوية هي الدائرة، إذْ تُنسب أية عملية تغيير في المذهب الأفلاطوني إلى الحركة الدائرية، أو إلى التغيير في وضع أو ترتيب الأشكال المثالية والتي أخذت اسم الأشكال الرياضية Mathematical Forms. كانت وجهة نظر أفلاطون أن أقصى فهم للكون يأتي من خلال استيعابه كمضمون رياضي، أو من الممكن التحكم فيه من خلال الأشكال الهندسية والمعادلات الرياضية والنسب العددية.

المذهب الأرسطوطاليسي

إذا كان أرسطوطاليس قد بدأ تلميذًا لأفلاطون، إلا أنه قد أسس مدرسة فلسفية خاصة به بعد أن انتهل من العلم وأصبح فيلسوفًا، اهتم أرسطوطاليس بوصف الكون كشيء عضوي تتحكم فيه القوة والسبب. رفض أرسطوطاليس المذهب الذري خاصة فكرة الفضاء الخالي، ولكنه أكد على فكرة أن جميع مواد هذا الكون تتكون من أربعة عناصر وهي: التراب، والماء، والهواء، والنار، وأن الأشكال المختلفة لأجزاء الكون تتأتى من النسب المختلفة للعناصر الأربعة الأساسية. افترض أرسطوطاليس وجود عنصر خامس وهو الأثير Ether والذي يتواجد في سماوات الكون. لم يخضع أثير أرسطوطاليس إلى خاصية التغيير الدنيوية التي تميز الأربعة عناصر السابق ذكرها حيث إن الأثير هو عنصر سماوي علوي، وهو فقط الذي يمكن أن تأخذ حركته الشكل الدائري. وضع أرسطاليس مبدأً هامًّا في حينه وهو مبدأ أن المشاهدة -أي التجربة العملية- هي الطريق الوحيد للوصول إلى الحقيقة.

قد يكون إنسان آخر قد بحث في مجال الديناميكا Dynamics وتعامل مع تأثير القوة في الحركة، ولكن لم يسجل التاريخ إلا أعمال أرسطوطاليس كأول من أوجد علاقة بين الحركة والقوة. ميّز أرسطوطاليس ما بين نوعين من أنواع الحركة وهما الحركة الطبيعية والحركة العنيفة أي الحركة غير الطبيعية، معتقدًا أن كل عنصر في هذا الكون له مكانه الطبيعي، فالأرض هي مركز الكون وتحيطها المياه ثم الهواء، ثم النار. ذهب أرسطوطاليس أيضًا إلى أن كل عنصر له حركته الطبيعية التي توجهه نحو

مكانه الطبيعي إذا لم يكن بالفعل يتواجد في ذلك المكان. إن الأرض والماء في فكر أرسطوطاليس لهما خاصية الجاذبية التي تجعلهما يتحركان إلى أسفل، بينما الهواء والنار لهما خاصية التطاير وخفة الوزن مما يجعلهما يتحركان إلى أعلى بينما يأخذ الأثير الحركة الدائرية التي تجعله يتواجد في مكانه الطبيعي، أما بالنسبة للحركة العنيفة الغير طبيعية فهي حركة تسببها قوة خارجية مفروضة عليها، وقد توجهها هذه القوة إلى أي اتجاه، ولكن تنتهي هذه الحركة العنيفة بتوقف القوة المؤثرة. وطبقًا للنظرية الفيزيائية لأرسطوطاليس فإن سرعة الشيء المتحرك تتناسب طرديًّا مع القوة المؤثرة، كما تتناسب عكسيًّا مع مقاومة الحركة، وتأخذ هذه العلاقة الشكل الآتي:

$$V = K \frac{F}{R}$$

حيث إن: V هي سرعة الشيء المتحرك، R: هي المقاومة، K: هو مقدار ثابت، ولكن يظهر الخلل في هذه المعادلة في بديهية وصول السرعة إلى ما لا نهاية إذا كان لا يوجد مقاومة؛ لم يتخيل أرسطوطاليس في عصره السالف أنه في الإمكان وجود حركة في مجال خالٍ من المقاومة، فلم يكن الإنسان قد تصور في ذلك العصر أنه يوجد فضاء خال، بدون جاذبية أو أشياء مادية في هذا الكون. اعتقد أرسطوطاليس أن الحركة العنيفة تستلزم قوة دافعة مستمرة مثل حركة المقذوف، كما أوضح أن السهم الذي تم رميه بواسطة القوس يستمر في حركته إلى حين؛ بالرغم من انفصاله عن القوس القاذف نتيجة لإعطاء القوس الهواء المصاحب للمقذوف قوة دافعة مستمرة تحافظ على حركة المقذوف. لم يكن تفسير أرسطوطاليس البدائي والساذج للقاذف والمقذوف مقنعًا؛ لذلك ظلت هذه المغالطة قائمة ومحيرة لقرون عديدة.

تعتبر الاستاتيكا Statics فرعًا آخر من فروع الميكانيكا الخاصة بدراسة الأجسام الساكنة والتي تتعرض لمجموعة قوى مختلفة ومتعددة، ويعتبر الإغريقي أرشميدس في القرن الثالث قبل الميلاد هو رائد علم الهندسة في الحضارة الإغريقية، كما وكانت له بصمات ملموسة في دراسات الميكانيكا الاستاتيكية، كانت حسابات مركز الجاذبية

لأشكال هندسية متنوعة من أكثر التطبيقات الناجحة للرياضيات في علم الفيزياء، ويعتبر أرشميدس أيضًا هو مُنشيء علم استاتيكا الموائع Hydrostatics، ودراسة توازن السوائل، ودراسة القوى المؤثرة في المواد الصلبة.

بدأ الرياضي اليوناني إقليدس Euclid في القرن الثالث قبل الميلاد، في مدينة الإسكندرية أبحاثه في علم هندسة البصريات، بافتراض أن الضوء هو عبارة عن شعاع ليس له كثافة يسير في خط مستقيم، ولكنه افترض أيضًا أن مصدر الضوء هو عين الكائن الحي وليس الشيء المنظور كما أثبتت النظريات الفيزيائية بعد ذلك بعدة قرون. كما كانت أبحاث توليمي المكنّى بالسكندري Ptolemy of Alexandria في مدينة الإسكندرية في القرن الثاني الميلادي من أكثر الأبحاث تحليلاً اكتمالاً ودقة بالنسبة لتلك العصور القديمة في مجال الفلك وحركة النجوم، ولكنه وافق إقليدس في أن العين ترى الأشياء بإرسالها أشعة نحو الشيء المنظور، وعالج توليمي السكندري في كتابه عن البصريات انعكاس الضوء بواسطة المرايا بأشكالها المتنوعة، كما بحث في كتابه موضوع هندسة المسارات الضوئية المنعكسة وكذلك موضوع الانكسار الضوئي.

بعد أن سادت قرون طويلة من الكُمون في مجال العلم في أوروبا وانتقال الازدهار العلمي إلى الحضارة العربية/ الإسلامية التي شهدت أوج مجدها ما بين القرنين الثامن والحادي عشر، بدأ انبعاث روح النهضة العلمية في الغرب مرة ثانية في القرن الثالث عشر بالرجوع إلى الفلسفة العلمية لأساطير الإغريق خاصة أفلاطون وأرسطو، وكذلك العلماء المسلمين الذين تركوا كنوزًا فكرية في جميع مجالات العلم.

في نهاية القرن السابع عشر ظهر الإيطالي جاليليو جاليلي Galileo، والإنجليزي إسحاق نيوتن Newton بدراساتهما في مجال القوة والحركة، من هذا المرتكز بدأت الانطلاقة الكبرى وساد العالم الغربي عصر العلم أو ما أسماه البعض «ثورة العقل» وتتلخص الأحداث الهامة التي أثرت على التقدم في مجال الفيزياء في:

- نظرية الفلكي البولندي كوبرنكس Copernicus الخاصة بمنظومة مركزية الشمس Heliocentric System، وأن الكواكب السيارة تدور في أفلاك حولها.
- اختراع الأجهزة العلمية مثل البارومتر Barometer ومضخة الهواء Air- Pump، فكان من نتائج تلك الاختراعات تشجيع الاهتمام بالأبحاث العلمية والوصول إلى درجات عالية نسبيًّا من الدقة.
- تخفيف قبضة الدين على العقول في أوروبا مما شجع على المناقشات العلمية التي تتعارض مع الكتب المقدسة.
- انتشار الطباعة التي أدت إلى الاتصال السريع للأفكار العلمية الجديدة، وتوافر الأبحاث والكتب والدوريات العلمية.
- تشكيل مفهوم المجمعات العلمية التي حصلت على التأييد المادي والمعنوي من حكومات الدول الأوربية ومن رجال الأعمال والصناعة.

بإسقاط كتلة ثقيلة الوزن وكتلة خفيفة الوزن، أثبت جاليليو أن الكتلتين تصلان إلى سطح الأرض في نفس الوقت. لقد حلت هذه التجربة متناقضة Paradox أرسطو التي كانت تتساءل مع الفرض القديم بأن الأجسام الثقيلة تسقط بسرعة أكبر من الأجسام الخفيفة كيف يصل جسمان متلاصقان أحدهما ثقيل والآخر خفيف إلى الأرض في نفس الوقت؟... لقد توصل أرسطو إلى حل هذه المتناقضة بفرضه أن الجسم الثقيل سيسرع من حركة الجسم الخفيف، والجسم الخفيف سيبطئ من حركة الجسم الثقيل، وأن سرعة الجسمين حالة كونهما متلاصقين ستكون سرعة متوسطة بين سرعتي الجسمين حالة كونهما منفردين.

وفي مجادلة أخرى ظهرت بعد أن نادى كوبرنيكس بمركزية الشمس، وأن الأرض تدور حولها، وهي: بفرض أن الأرض تدور حول الشمس فكيف يسكن الحجر الذي يسقط من برج عالٍ مباشرة تحت المكان الذي تم إسقاطه منه ولا يسقط في مكان آخر كنتيجة لحركة الأرض؟ أجاب جاليليو على هذه المجادلة بأن الحجر يشارك الأرض في حركتها وبنفس سرعتها، وبالتالي فإنه يسقط أسفل المكان الذي سقط منه

سواء كانت الأرض تتحرك أو ثابتة، كانت المجادلة السابقة بداية التعرف على قانون القصور Law of Inertia، والذي صاغه نيوتن بعد ذلك كأول قانون من قوانين الحركة والذي نص على: أن الجسم سيستمر في الحالة التي هي عليه، إذا كان في سكون أو حركة، في نفس الاتجاه ونفس السرعة إلا إذا أثرت فيه قوة خارجية، توصل تحليل جاليليو إلى الحل النهائي لمسألة حركة المقذوف Projectile Motion، بتوصله إلى أن المكون الأفقي للحركة والمكون الرأسي للحركة يكوِّنا معًا حركة المقذوف ذي المنحنى المكافئ Parabolic Motion، أكمل جاليليو في كتابه الأخير «علمين جديدين Two New Sciences» والذي صدر عام ١٦٣٨، انهيار الفيزياء الأرسطوطاليسية، معلنًا إثبات وترسيخ النظرية الرياضية للحركة المسرعة/ المعجلة Mathematical Motion of Accelerated Motion، والتي كانت لها الأهمية في حسابات مدارات الكواكب في منظومة مركزية الشمس.

ظهر الفيلسوف الفرنسي رينيه ديكارت Descartes في القرن السابع عشر مدعيًّا أن العالم مرتبط بحركة ميكانيكية في اتجاه عقرب الساعة، خلقها الإله من خلال المادة والحركة. افترض ديكارت أنه من أجل ألا تنهار آلة العالم World Machine، فإنه كلما حدث تصادم للجسمين، فإن كمية التحرك أو القوة الدافعة Momentum ستظل ثابتة بدون تغيير، حدد ديكارت القوة الدافعة بحاصل ضرب الكتلة في السرعة، بشرط أن يكون الجسمان المتصادمان في نفس الاتجاه، وقام الفيزيائي الهولندي كريستيان هيوجنز Hygens في عام ١٦٦٠ بإجراء أبحاث في ميكانيكا التصادم، محاولاً إثبات قانون حفظ قوة الدفع، وأن كمية أخرى من قوة الدفع تساوي الكتلة في حاصل ضرب مربع السرعة، تظل أيضا ثابتة في حالة تصادم الأجسام المرنة Elastic Bodies. ومن هذا المدخل الأخير ظهر المفهوم العام للطاقة في مجال الفيزياء.

ولد الفيزيائي الشهير إسحاق نيوتن عام ١٦٤٢ في السنة التي توفي فيها جاليليو. درس نيوتن في جامعة كمبريدج، وقبل أن يتعدى عمره العشرين عامًا كان قد أصدر ثلاثة من أهم نظرياته وهي: حساب التفاضل والتكامل، ونظرية الجاذبية، ونظرية

تركيب الشعاع الضوئي، كان مؤلفه «القواعد الرياضية للفلسفة الطبيعية» والذي نُشر عام ١٦٨٧ من أهم أعمال نيوتن. قامت نظريات نيوتن في الفيزياء على ثلاثة قوانين أساسية، كان القانون الأول هو الخاص بالقصور وهو القانون الذي اكتشفه جاليليو، أما القانون الثاني فهو ينص على أن عجلة الجسم المتحرك تساوي القوة المؤثرة فيه مقسومًا على الكتلة، أما القانون الثالث فهو القانون الخاص بالفعل ورد الفعل Law of Action and Reaction والذي ينص على أن أية قوة لها قوة أخرى تساويها في المقدار وتضادها في الاتجاه. ميز نيوتن ما بين الكتلة والوزن، فالكتلة Mass هي خاصية متأصلة وملازمة Inherent Property للجسم أي هي مقدار أو مقياس ما تحويه المادة، أما الوزن Wieght فيعرف بالقوة التي تبذله الجاذبية في الجسم، وعليه فإن العلاقة بين الوزن والكتلة تأخذ الشكل:

$$W = M * A_g$$

حيث W هو الوزن، M هي الكتلة، A_g العجلة الناتجة من تأثير الجاذبية، وبيّن نيوتن أن سقوط الأجسام القريبة من سطح الأرض. وكذلك حركة القمر والكواكب يمكن تفسيرها بدقة عالية بفرض قانون عام واحد للجاذبية يأخذ الصورة:

$$F= G \frac{M_1 * M_2}{R^2}$$

حيثF هي قوة الجاذبية بين جسمين لهما الكتلة M_1& M_2, R هي المسافة بين مركزي الجسمين، G هي ثابت الجاذبية.

توافقت أبحاث نيوتن في حركة الكواكب مع نظرية جوهانسن كبلر Kepler والتي تذهب إلى أن شكل حركة الكوكب حول الشمس ينتج من جمع حركة الخط المستقيم للكوكب في حالة عدم تأثير أي قوة عليه، وكذلك حركة عجلة الكوكب الناتجة من تأثير قوة الجاذبية للشمس، وتتعامد تقريبا هاتان الحركتان بحيث تأخذ المحصلة Resultant شكل القطع الناقص Ellipse.

أظهرت حسابات نيوتن الناتجة من نظريته في حركة الكواكب أن دوران الأرض حول الشمس تجعل الأرض تنتفخ عند خط الاستواء، وتأخذ الشكل الانبعاجي الشبيه بالكرة المنبعجة، أما في مجال البصريات Optics، فقد اكتشف نيوتن أن الضوء يتكون من الإشعاعات الملونة Colored Rays، والتي تنكسر وتنحرف في اتجاهات مختلفة بواسطة المنشور Prism وتنتشر في شكل ألوان الطيف Spectrum، وبالرغم من التفسير السابق فقد جادل نيوتن في أن المنشور لا يغير الضوء الأبيض إلى إشعاعات ملونة، ولكنه يفصل بين هذه الإشعاعات الملونة الموجودة بالفعل قبل مرورها على المنشور، أيد نيوتن نظرية جزيئات الضوء بالرغم من أنه أقر بأن الضوء له بعض الخواص التي تشير إلى تميزه بشبه الموجات الدورية.

حاول الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج Young حول عام ١٨٠٠ إحياء نظرية الموجات الضوئية في نفس الوقت الذي قام فيه أوجستين فرنسيل Frensel بعرض نظريات خاصة بموجات الضوء في أكاديمية العلوم بباريس، شارحًا كل الخواص المعروفة للضوء، مدعمًا بالتجارب العملية مؤكدًا على نظرية موجات الضوء.

ظهر في النصف الأول من القرن التاسع عشر بعض الاكتشافات التي ربطت بين فروع الفيزياء المختلفة. أوضح الفيزيائي والمهندس الفرنسي تشارلز كولوم Charles Coulomb في نهايات القرن الثامن عشر وبدايات القرن التاسع عشر، أن القوى المغناطيسية Magnetic Forces والإليكتروستاتيكية Electrostatics يتبعان قانون التربيع العكسية مثل قانون الجاذبية لنيوتن، حيث يقابل الشحنات الكهربية Electric Charges أو الأقطاب المغناطيسية Magnetic Poles الكتلتين $M_1\&M_2$، قام كولوم أيضًا بحساب توزيع شدة الجهد والإجهاد Stress & Strain لبعض المواد، بإخضاعها لجهود مختلفة حتى تصل لدرجة الانكسار Breaking Point، وبذلك أوجد كولوم هندسة الإنشاءات الحديثة، وفي عام ١٨٢٠ توصل الفيزيائي الدنماركي هانز أورستيد Orested إلى أول علاقة تربط ما بين المغناطيسية والكهرباء، باكتشافه أن التيار الكهربي Electric Current المار في سلك والقريب من مجال مغناطيسي، تتولد عنه قوة

تتعامد معها، مسببةً حركة دائرية للمغناطيس حول السلك الذي يمر به التيار الكهربي، كان اكتشاف أورستيد هو البداية لتصنيع المحرك الكهربي Electric Motor، والتلغراف الكهربي Electric Telegraph، وفي عام ١٨٣١ اكتشف كل من الإنجليزي مايكل فاراداي Faraday، والأمريكي جوزيف هنري Henry الحث الكهرومغناطيسيElectromagnetic Induction، والذي كان بذرة عمل وتشغيل المولد الكهربي Electric Generator. كان لفاراداي ثلاثة قوانين هامة وهي:

قانون الحث Law of Induction: إذا تعرضت حلقة من السلك لمجال مغناطيسي وحدث تغير في السريان المغناطيسي Magnetic Flux، فإن القوة الكهرومغناطيسية المولدة في الحلقة تتناسب مع معدل التغيير في السريان المغناطيسي.

القانون الأول في التحليل الكهربي Electrolysis: إن كتلة الناتج من عملية التحليل الكهربي تتناسب مع كمية الكهرباء المارة خلال المحلول الكهربي Electrolyte.

القانون الثاني في التحليل الكهربي: إن كتلة نواتج عمليات التحليل الكهربي والتي تنطلق كنتيجة لسريان نفس كمية الكهرباء، يكون لها نفس نسب المكافئ الكيميائي Chemical Equivalent المقابل لها.

كان تعريف مصطلح الطاقة Energy هو التعميم الشامل الذي انبثق من الاكتشافات العديدة في فروع الفيزياء المختلفة، وكانت تلك الاكتشافات هي الأساس لظهور نظريات حفظ الطاقة Conservation of Energy، والتي توالى ظهورها في أربعينيات القرن التاسع عشر من خلال دراسات وأبحاث الألمانيين جوليوس ماير وهيرمان هيلمولتز، والإنجليزي جول، والدنماركي ليد فيج كولدنج، أثمرت هذه الأبحاث إلى نتيجة واحدة وهي أن الكمية الإجمالية للطاقة في الكون تظل ثابتة، بالرغم من إمكانية تغيير أي شكل من أشكال الطاقة إلى شكل آخر، ولقد أعطت هذه القاعدة توحيدًا لعلوم الفيزياء على المستوى النظري والمستوى العملي.

تُعرف الطاقة Energy في علم الفيزياء بأنها قدرة الشيء لإنجاز شغل ما، تبذل في شكل حركة أو وضع، وتسمى الطاقة المصاحبة للحركة بطاقة الحركة Kinetic Energy، أما الطاقة المصاحبة للتغيير في الوضع فتسمى بطاقة الوضع Potential Energy، توجد الطاقة في الكون بأشكال مختلفة مثل الطاقة الحرارية Thermal Energy، والطاقة الميكانيكية Mechanical Energy، والطاقة الكيميائية Chemical Energy، والطاقة الكهربية Electrical Energy، والطاقة الإشعاعية Radiant Energy، والطاقة الذرية Atomic Energy، ويمكن تحويل هذه الطاقات من شكل إلى آخر بواسطة العمليات الملائمة لنوعي الطاقة المراد تحويلها والشكل المراد تحويلها إليه. مثلاً يمكن تحويل طاقة الحركة إلى طاقة كهربية بواسطة المولد الكهربي، والعكس صحيح فيمكن تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة حركية بواسطة المحرك الكهربي. وإذا أطلقنا مقذوفًا من مدفع؛ فإن طاقة الوضع المخزونة في بودرة المدفع «الوقود Fuel» تتحول إلى طاقة حركية، ويظل المجموع الكلي للطاقة ثابتًا، فالطاقة طبقًا للقوانين المبسطة في الفيزياء، (لا تفنى ولا تستحدث ولا تخلق من عدم).

قام الكيميائي الإنجليزي جون دالتون Dalton، وعلماء آخرون في القرن التاسع عشر باكتشاف طرق لتحديد الأوزان الذرية النسبية Relative Atomic Weights. ووضع كل من الألماني رودلف كلاسيوس Clausius، والإسكتلندي جيمس ماكسويل Maxwell معادلات وصيغ نظرية لخواص الغاز تقوم على حجم الذرة. وتوصل كلاسيوس إلى إيجاد معادلة لحساب متوسط المسار الحر للذرة قبل اصطدامها مع ذرة أخرى، واستخدم جوزيف لوشميت في عام ١٨٦٥ معادلة كلاسيوس لتقدير متوسط قطر الذرة، وكانت النتيجة هي حوالي ٣×١٠^{-٨} سنتيمتر، وعرض كلاسيوس وماكسويل طرقًا إحصائية لنظرية طاقة الحركة Kinetic Energy مستخدمين التوزيع الإحصائي لمسارات الذرات وسرعاتها، وفي ذلك الوقت ساد اعتقاد العلماء من فيزيائيين وكيميائيين أنه قد تم معرفة كل شيء عن حركة الذرات، حتى إن الفلكي الفرنسي بيير لابلاس Laplace قد تقوَّل جملته المشهورة: (إذا تم معرفة

سرعات وقوى جميع ذرات الكون فإن ماضي ومستقبل الكون سيصبح معلومًا). ولكن غفل لابلاس والعلماء الآخرون أنه لن يستطيع الإنسان أن يعرف كل شيء عن أي شيء، وأن استخدام النظريات الإحصائية هي نتيجة عجز الإنسان عن التوصل إلى الحقيقة المطلقة الكاملة.

اقترح الفيزيائي النمساوي ليدويج بولتزمان Boltzman في القرن التاسع عشر إطلاق مصطلح الإنتروبيا Entropy على درجة التعادل الحراري، أو قياس الطاقة الغير المتاحة، أو عشوائية النظام الفيزيائي، يعني تغيير أنتروبيا النظام كمية الحرارة التي يتم الحصول عليها من النظام مقسومًا على درجة الحرارة المطلقة للديناميكا الحرارية للنظام، في النظم المغلقة أو النظم المعزولة، فإن كل تحويل قابل للانعكاس Reversible لا يغير من مقدار الإنتروبيا، بينما يصاحب كل نظام غير قابل للانعكاس زيادة في الإنتروبيا، أي إن حساب الإنتروبيا يعتمد فقط على حالتي البداية والنهاية للنظام ولا يعتمد على المسار من حالة إلى أخرى.

تعتبر نظرية ماكسويل في الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves هي أكثر النظريات نجاحًا وشهرة في القرن التاسع عشر. وقد اشتق ماكسويل معادلات تربط بين التغيير في المجال الكهربي والمجال المغناطيسي، وذلك بعد الفرض بأن المجال المغناطيسي يمكن أن يحدث حركة من الشحنات الكهربية في الأثير أو في الموصلات السلكية، وطبقًا لنظرية ماكسويل فقد توصل أيضًا في عام ١٨٦٠ إلى أن الضوء يتكون من موجات كهرومغناطيسية يمكنها الانتقال خلال الأثير، وتنبأ ماكسويل أيضا بوجود موجات كهرومعناطيسية أخرى تختلف في الذبذبة Frequency عن موجات الضوء، ونجح الألماني هنريك هرتز Hertz في عام ١٨٨٨ في التوصل إلى الموجات الكهرومغناطيسية المنخفضة التردد Low- frequency مما ساعد ماركوني Marconi في اختراع الراديو عام ١٨٩٥، وفي عام ١٨٩٥ اكتشف الفيزيائي الألماني فيلهايم رونتجن Rontgen أشعة إكس X- rays. إذ وجد رونتجن أنه عند مرور تيار كهربي في أنبوبة زجاجية مفرغة ومغلفة بغطاء ورقي أسود يمنع مرور الضوء، فإن

كريستالات الباريوم بلاتينوسيانيد Barium Palatino-Cyanide التي تتواجد بالقرب من الأنبوبة سوف تتوهج، ومن خلال الملاحظة توصل رونتجن إلى أنه يوجد أشعة غير معروفة تسببت في توهج ألواح الكريستلات، وأن هذه الأشعة تسير في خطوط مستقيمة ويمكنها اختراق الورق والخشب والجلد وغيرها من المواد، ويمكنها كذلك التأثير على الألواح الفوتوغرافية Photographic Plates.

قرابة نهاية القرن التاسع عشر، تيقن للعلماء أن جميع الأجسام الساخنة تشع طيفًا من الموجات الكهرومغناطيسية تعتمد فقط على درجات حرارتها، وكانت الملاحظة المباشرة هي الدليل على تأثير حرارة الأجسام على طول الموجة، وكمثال على ذلك فإن تسخين قطعة من الحديد يحول لونها إلى الأحمر، كدليل على أن معظم الإشعاع يقع في حيز نهاية التردد المنخفض للطيف المرئي Visible Spectrum.

وكمثال آخر، فعند درجات الحرارة المرتفعة جدًا مثل توهج النجوم فإن لون التوهج يميل إلى الزرقة كدليل على أن الإشعاع يكون عند النهاية العالية للطيف المرئي. حاول الفيزيائي الألماني ماكس بلانك Max Planck استنتاج التوزيع التكراري Frequency Distribution للطاقة الإشعاعية الناتجة من إشعاع جسم ساخن مستخدمًا نظرية ماكسويل في الكهرومغناطيسية، وفي أكتوبر من عام ١٩٠٠ توصل بلانك إلى معادلة تتوافق بدقة مع القياسات المعملية عند درجات حرارة مختلفة.

وفي ديسمبر من نفس العام أعلن بلانك أن معادلته يمكن أن تشتق بفرض أن الذرة يمكن أن تقذف بإشعاع في صورة كميات غير متصلة Discrete Amounts، أو ما يسمى بالكمات «جمع كم Quanta»، إن لكمات الإشعاع وهي أصغر مقدار من الطاقة يمكن أن يوجد مستقلاً Quantum كمية من الطاقة E تساوي حاصل ضرب تردد الإشعاع F في ثابت بلانك h أي أن:

$$E = F * h$$

أحدثت نظرية بلانك للكمات Quantum Theory ثورة علمية كان نتيجتها استبدال الفكر الكلاسيكي لنيوتن بالفكر الذري الحديث لماكس بلانك، لقد استبدل يقين ملاحظات نتائج التجارب، بحساب التوزيع الاحتمالي، أيضًا تعاملت النظرية مع المادة والطاقة وشكل الإشعاع على نفس الأساس بدلاً من التعامل المنفصل في النظريات الكلاسيكية السابقة على نظرية الكمات.

قاد ألبرت أينشتين Einstein الثورة العلمية في القرن العشرين، بالوصول إلى ثلاث نظريات رئيسية وهامة وهي:-

الحركة البراونية Brownian Movement، أي الحركة الغير منتظمة للجسيمات الدقيقة المعلقة في الموائع، مقدِّمًا طريقة جديدة لتقدير مدى حجم الجزيئات Size of Molecules.

النسبية: Relativity الخاصة والعامة.

التأثير الكهروضوئي Photo-electric Effect (الفوتون هو الجسيم الذي يشكل الضوء، وأشعة إكس، والأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي).

استطاع الفيزيائي الفرنسي جين بيران Perrin في بدايات القرن العشرين إقناع ما تبقى من الشكاكين بالطبيعة الذرية للمادة، والذين كانوا ما زالوا عند رأيهم بفكرة الإغريقي إيبقروس عن الجسيم الذي لا يمكن تجزئته، لقد كان اكتشاف طومسون Thomson للإليكترون في عام ١٨٧٩ مشجعًا للعلماء للاقتناع بفكرة الذرة التي تتكون من جسيمات أصغر لها شحنة كهربية Electric Charge مثل ظاهرة النشاط الإشعاعي Radio-activity. أتبع اكتشاف هنري بيكريللي للنشاط الإشعاعي في عام ١٨٩٦، قيام ماري وبيير كوري بعزل عنصر الراديوم والعناصر الإشعاعية الأخرى. وعرف النيوزيلاندي أرنست ريذرفورد Rutherford بعض المواد ذات الخاصية الإشعاعية وقدرتها على الانحلال Decay، كما توصل إلى أن المواد لها خاصية

«التحول العنصري» Transmutation، وتعنى خاصية «التحول العنصري» تغير العنصر الكيميائي للمادة وتحويلها إلى مادة أخرى، كنتيجة للنشاط الإشعاعي للذرات غير المستقرة والتي تقذف بجسيمات مشحونة (بشحنات موجبة أو سالبة) من نواة الذرة، أو امتصاص الذرة لجسيمات مشحونة من الفضاء الملامس، وبذلك يتغير المكون الذري للعنصر وقد يتحول إلى عنصر آخر، له خواص مختلفة. لقد راودت فكرة تغيير عناصر المادة علماء الحضارات القديمة، آملين تحويل المعادن الشائعة الرخيصة مثل الحديد والنحاس إلى معادن ثمينة مثل الذهب والفضة.

اقترح العالم ريذرفورد في عام ١٩١١ نموذجًا شكليًا للذرة، التي تتكون من نواة Nucleus تتركز فيها معظم كتلة الذرة، يحيطها إلكترونات Electrons تتحرك في الفضاء الخالي المحيط بالنواة. وفي عام ١٩٢٣ قدم الفيزيائي الأمريكي آرثر كمبتون Compton دليلاً آخر على نظرية الكمات، وأن الفوتون يمكن اعتباره كجسيم، وذلك بعد أن أجرى أبحاثه وتجاربه على تصادم الإلكترونات بأشعة إكس، وجد كمبتون أن أشعة أكس تسلك سلوك الفوتونات العالية التردد، حاملة كمية حركة مثل الجسيمات والتي تحولت إلى اليكترونات طبقا لقاعدة حفظ الطاقة. في عام ١٩٢٤ اقترح بروجليه Broglie أن الجسيمات يجب أن تكون لها خواص الموجات مثل التداخل Interference، والحيود Diffraction. تأكد صحة الاقتراح السابق بعد أن أظهرت التجارب أن الإلكترونات يمكن أن تحيد وتنحرف إنحرافًا ضيئلاً إذا هي مرت خلال صفوف من الذرات في بلورة Crystal. اقترح الفيزيائي الدنماركي نيل بوهر Bohr في عام ١٩١٣ نظرية الكمات للبناء الذري على أساس نموذج ريذرفورد، وفي عام ١٩٢٠ أوضح بروجليه أن القيود على المدارات Orbits المتاحة في نموذج بوهر يمكن أن تفسر كخاصية موجية، يجب أن يكون فيها محيط المدار أكبر بدرجة كافية لاحتواء عدد زوجي من أطوال الموجات. وبذلك تكون مستويات الطاقة الذرية Atomic Energy Levels موجودة بشكل مضاعفات لكم ثابت، ولها نفس طريقة ترددات النغمة التوافقية Harmonious Tones لوتر له حركة تذبذبية.

حول عام ١٩٢٦، جاء التطور في ميكانيكا الكمات Quantum Mechanics بحلول لكثير من الألغاز حول ثنائية الموجة/ الجسيم، Wave-Particle Dualism، والهيكل الإلكتروني للذرة Electronic Structure of Atom، والرابطة الكيميائية Chemical Bond، والتوصيل الكهربي في المعادن، والسيولة المفرطة Super fluidity للهيليوم، أدت اكتشافات علماء الفيزياء بالتسليم بأن الخواص الظاهرة للجسيم، أو لمجموعة جسيمات يمكن وضعها في صورة معادلات رياضية، تربط هذه المعادلات الجسيم المفرد بباقي منظومة الكون فلا يوجد جسيم مفرد غير مرتبط بالمنظومة الكونية Universe System إلا من خلال التحليل التقريبي Rough Approximation فدائمًا ما يتواجد الجسيم كجزء من المنظومة الفيزيائية، تماما مثل الخلية التي تعتبر جزءًا من الكائن الحي في علم الأحياء Biology. وضعت قاعد هايزنبرج Heisenberg الطبيعة الاحتمالية لميكانيكا الكمات في قالب لا حتمي. أكدت القاعدة على استحالة قياس الوضع Position، وكمية الحركة Momentum للجسيم في نفس الوقت، بدقة نهائية. رفض أينشتين فكرة «الطبيعة العشوائية للكون» ، مؤكدًا وجود الرب الخالق المسير للكون، والمتحكم فيه، وجاءت مقولته التهكمية على العلماء الآخرين بأن «الرب لا يمارس لعبة النرد» God Does not Play Dice ككناية على عدم احتمالية النظام الكوني. إن نظريات ميكانيكا الكمات من وجهة نظر أينشتين لم تكتمل بعد لتفسير وشرح الواقع الفيزيائي.

في عام ١٩٠٥ أعلن أينشتين عن نظرية النسبية Theory of Relativity مؤكدا على أنه لا يوجد أي شيء في الطبيعة متوافقًا مع الفضاء ا لمطلق Absolute Space، أو الأثير. ادعى أينشتين أيضًا أن سرعة الضوء واحدة في كل نظام أحداثي Coordinate System، أو في أي إطار للمقارنة Frame of Reference ، وأن هذه السرعة هي الحد الأقصى للسرعات داخل هذا الإطار. استدل أينشتين من خلال تلك الادعاءات، أن المراقبين Observers الموجودين في إطارات مختلفة سوف يحصلون على نتائج مختلفة للأوزان، والكتل، والمراحل الزمنية، عندما تصل سرعاتهم النسبية Relative Velocities

إلى سرعة الضوء. شرح أينشتين في النظرية النسبية العامة في عام ١٩١٦، قوى الجذب Gravitational Forces التي تسبب تقوس الفضاء Curvature of Space، وذلك باستخدام الهندسية غير الإقليديسية Non- Euclidean، وهي الهندسة التي طورها كل من الرياضي البولندي/ الروسي نيكول ايفانو لوبتشفسكي Labachevsky والرياضي الفيزيائي جورج ريمان Riemann في القرن التاسع عشر. كان من الصعب اختبار صحة نظرية النسبية العامة في المعامل البحثية في ذلك الوقت ولكن كانت لها تبعيات هامة في تطور علم الفلك Astronomy، وعلم الكونيات Cosmology في عام ١٩٢٢، أثبتت التجارب ما وصل إليه أينشتين بانحناء ضوء النجوم بواسطة قوى الجاذبية للشمس، وذلك بملاحظة عمليات كسوف الشمس، وخسوف القمر Eclipse.

في عام ١٩٢٢ قام فريدمان Friedman بحل معادلات النسبية العامة بوضعها في نموذج رياضي مبسط، موضحًا أن حل معادلات النظرية يؤدي إلى فكرة تمدد الكون حيث تتمدد المجرات، وتبتعد كل مجرة عن المجرات الأخرى بسرعة نسبية تتناسب مع المسافات الواقعة بينهم. توصل الفلكي الأمريكي إدوين هابل Hubble إلى نتائج مشابهة وذلك من خلال مشاهداته وأبحاثه الفلكية، أدى نجاح وشهرة النظرية النسبية إلى أن اعتقد صاحبها أن قوانين الطبيعة يمكن أن توضع في صور رياضية وذلك من خلال مسلمات بسيطة، مع الأخذ في الاعتبار بعض الملاحظات والتوجيه العام من التجارب الفيزيائية، دعَّم علم الفيزياء إلى حد ما ادعاء أينشتين، وأكد وجهة نظره، فأشعة الليزر Laser مثلا يمكن توليدها بتحفيز إطلاق الطاقة الإشعاعية، وهذا ما عرضه أينشتين، ولكن على أساس نظري فقط في عام ١٩١٦.

كان للتطور في مجال الفيزياء منذ عام ١٩٣٩ تأثيرٌ كبيرٌ على تطوير صنع القنبلة الذرية، التي نبعت من خلال خطاب مرسل من أينشتين إلى الرئيسي الأمريكي روزفلت في نفس العام. بعد التدمير الهائل الناتج من إسقاط القنبلتين الذريتين على مدينتي هيروشيما ونجازاكي اليابانية في عام ١٩٤٥، قرر الفيزيائيون التحفظ على الاكتشافات التي تؤدي إلى التدمير وإلى ضرر البشرية، وإنهم لن يقفوا بمعزل عن

المشاركة في التنديد الشعبي لأسلحة التدمير الشامل. وبدأ علماء الفيزياء في تكريس مجهوداتهم في أبحاث توليد الطاقة من الذرة، وذلك من خلال المفاعلات الذرية Atomic Reactors.

الوحدات والأبعاد

تعرف الكميات الطبيعية في الكون بمقدار الوحدات التي تقاس بها، وكذلك العدد الذي تتكرر به الوحدة داخل الكمية. تعتمد القياسات الطبيعية على ثلاث وحدات Fundamental Units وهي: الطول، الكتلة، الزمن.

الطول Length: يعتبر المتر هو الأساس العياري للطول، وهو طول موجة اللون البرتقالي الأحمر لذرة كريبتون ٨٦. ويحتوي المتر على ألف مليميتر.

الكتلة Mass: هي كمية المادة الموجودة في الجسم، والأساس العياري للكتلة هو الكيلو جرام، والكيلو جرام يحتوي على ألف جرام، ويعرف الجرام بأنه كمية المادة الموجودة في ١سم^{٣} من ماء نقي في درجة حرارة ٤ْم.

الزمن Time: تستخدم الحركة الدورانية للأرض حول نفسها كمقياس للزمن، وتتم الدورة الكاملة في زمن قدره يوم كامل، والذي يقسم إلى ٢٤ ساعة وتقسم الساعة إلى ٦٠دقيقة، وتقسم الدقيقة إلى٦٠ ثانية هي الوحدة الأساسية للزمن.

لكل كمية طبيعية وحدة مشتقة Derived Unit من الوحدات الأساسية، فالسرعة مثلا هي المعدل الزمني الذي يقطع به الجسم المتحرك المسافات، وتكون وحدة السرعة المسافة مقسومًا على الزمن وتتكون وحدات كمية الحركة من الكتلة والسرعة.

الحركة Motion: تتحرك الأجسام في الكون من خلال نوعين من الحركات وهما الحركة الخطية Linear Motion، والحركة الدورانية Rotational Motion. لا توجد حركة مطلقة حتى الآن فلم يثبت وجود مركز ثابت تتحرك الأجسام بالنسبة له، لذا

فإن جميع أشكال الحركة في الكون نسبية. يقطع الجسم المتحرك في الحركة الخطية المنتظمة مسافات متساوية في أزمنة متساوية، وتعرف سرعته بأنها المعدل الزمني لقطع المسافة. إذا كانت V هي السرعة، X هي المسافة، T هو الزمن، فإن السرعة يمكن أن تعرف بأنها معدل تغير المسافة بالنسبة للزمن:

$v = \frac{dx}{dt}$. أما إذا لم تكن سرعة الجسم ثابتة مقدارًا واتجاهًا، فإن معدل السرعة يتغير بالنسبة للزمن ويسمى بالعجلة a التي يمكن أن تشتق من المعادلة:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

قوانين نيوتن للحركة

وضع نيوتن أساس علم الميكانيكا Mechanics على ثلاث قوانين للحركة:

١- **القانون الأول: يظل الجسم الساكن في حالة سكون ما لم تؤثر عليه قوة** تغير من حالته، وفي هذه الحالة يتحرك الجسم ويستمر في الحركة بسرعة منتظمة وفي خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة خارجية أخرى. يوضح القانون الأول خاصية القصور الذاتي Inertia للأجسام، حيث يقاوم الجسم الساكن أي تغير في حالة سكونه، ويقاوم الجسم المتحرك بحركة منتظمة في خط مستقيم أي تغير في شكل حركته.

٢- **القانون الثاني:** يتناسب معدل التغير في كمية حركة جسم ما مع القوة التي تؤثر عليه، ويكون هذا التأثير في اتجاه القوة المؤثرة، فعندما تتغير حالة الجسم عن السكون أو الحركة المنتظمة تحدث عجلة تسارع a يكون اتجاهها هو نفس اتجاه القوة المؤثرة، وتكون النسبة بين القوة المؤثرة والعجلة دائمًا مقدارًا ثابتًا للجسم الواحد وتساوي كمية المادة التي بداخله، أي كتلته m. إذا فرض أن سرعة الجسم تتغير من v_1 إلى v_2 خلال زمن t، نتيجة لتأثير القوة F، فإن:

$$a = (v_2 - v_1)/t$$

$$F = m (v_2 - v_1)/t$$

$$F * t = m * v_2 - m * v_1$$

أي إن التغير في كمية حركة الجسم يساوي دفع القوة المؤثرة والمسببة لهذا التغير.

٣- **القانون الثالث:** لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه، أي أنه إذا أثر جسم بقوة ما على جسم آخر فإن الجسم الثاني يؤثر بقوة مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه للقوة الأولى، ويؤكد هذا القانون على عدم وجود قوة مفردة إذ لا بد أن يصاحب كل فعل رد فعل.

الشغل والقدرة والطاقة

إذا كانت كمية الحركة هي حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته ($m * v$)، والقوة تساوي حاصل ضرب الكتلة في العجلة ($m * a$) وتقدر بالنيوتن، فإن الشغل Work –ويأخذ الرمز W – يعرف بأنه حاصل ضرب القوة في المسافة ($w = f * x$) وتقدر بالجول في نظام (SI). أما القدرة Power فتعرف بمعدل بذل الشغل ووحدتها جول لكل ثانية وتسمى بالوات Watt، كما تعرف أيضا بالحصان Horse Power- HP، والحصان الواحد يساوي ٧٤٦ وات.

يحتوي أي جسم في هذا الكون على كمية من الطاقة Energy يستطيع بها بذل الشغل، فإذا فرضنا أن جسم يتحرك بسرعة ابتدائية v، وأثرت عليه قوة F تعمل على إيقافه بعد أن يقطع مسافة x، فإن الشغل الذي بذلته القوة هو:

$$W = F x = m * a * x$$

$$V^2 = V_o^2 + 2 a * x$$

وحيث إن $v^2 = 0$ لوصول الجسم لحالة السكون

لذا فإن $V^2 = 2 * a * x$

ويكون الشغل $W = m * a * x = ½ m V^2$

ويساوي هذا الشغل طاقة حركة الجسم الابتدائية.

عندما يوجد جسم في مجال قوة مركزية جاذبة فإنه يكتسب بفضل موقعه طاقة تسمى طاقة الوضع Potential Energy. وعند سقوط جسم كتلته m مسافة x تحت تأثير الجاذبية الأرضية، يكون الشغل المبذول في السقوط $(m * g * x)$، حيث g هي عجلة الجاذبية الأرضية وتتحول هذه الطاقة بالسقوط إلى طاقة حركة تقدر بالكمية $½ m * v^2$.

ينص قانون بقاء الطاقة على أنه داخل أية مجموعة معزولة يظل مجموع الطاقات ثابتًا حتى ولو تحول أي شكل منها إلى شكل آخر. إن كتلة الجسم وهي كمية المادة التي بداخله ما هي سوى شكل من أشكال الطاقة المتجمدة والساكنة والتي يمكن تحريرها بواسطة التفاعل النووي، أثبت أينشتين أن الطاقة E المتحررة عن إفناء كتلة من المادة قدرها m يمكن أن تعين من المعادلة:

$$E = m * c^2$$

حيث c هي سرعة الضوء (٣٠٠ ألف كيلو متر للثانية الواحدة). وبذلك ينتج من إفناء ما يعادل الجرام الواحد من المادة طاقة قدرها ٩×١٠^{١٣} جول تقريبا.

التصادم المرن Elastic Collision

ترتد الأجسام المتصادمة بسبب وجود خاصية المرونة في كل منها، وقد وجد نيوتن أنه عندما يتصادم جسمان تصادمًا مباشرًا يكون التغير في السرعة بعد التصادم هو نسبة ثابتة من التغير في السرعة قبل التصادم ولكن في عكس الاتجاه. إذا فرضنا أن جسمين متصادمين لهما كتلتان m_1 , m_2 ويتحركان بسرعتين ابتدائيتين v_1 , v_2 في نفس الاتجاه، فيحدث عند تصادمهما أن تكون القوة التي يؤثر بها الجسم الأول على

الجسم الثاني مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه للقوة التي يؤثر بها الجسم الثاني على الأول خلال زمن التصادم، أي أن دفع الجسم الأول للثاني يساوي دفع الثاني للأول.

وطبقا للقانون الثاني لنيوتن، فإنه لا يحدث أي تغيير في كمية الحركة قبل وبعد التصادم، ويعرف ذلك بقانون بقاء كمية الحركة.

القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force

إذا اعتبرنا حركة نقطة مادية على محيط دائرة نصف قطرها r بسرعة منتظمة v، فإن السرعة تكون دائما في اتجاه المماس للدائرة، بالرغم من أن سرعة النقطة المتحركة ثابتة إلا أن اتجاهها يتغير باستمرار ويتبع ذلك حدوث عجلة، وتكون هذه العجلة في اتجاه مركز الدائرة وتساوي v^2/r.

إذا كانت كتلة النقطة المتحركة m، فإن القوة المركزية الناشئة عن دورانها في دائرة هي mv^2/r وتتجه نحو مركز الدائرة، ويكون السبب في ظهور هذه القوة المركزية هو نفس العامل المسبب للحركة الدائرية للجسم، ولما كان لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد له في الاتجاه، لذا ينتج قوة طاردة مركزية عكس اتجاه القوة الأولى، وذلك لحفظ الاتزان الديناميكي.

الحركة التوافقية البسيطة Simple Harmonic Motion

تنتج هذه الحركة من تحرك جسم حركة تذبذبية حول مركز اتزان ثابت، وذلك بإزاحة الجسم إزاحة صغيرة من موضع اتزان في مجال جاذب للقوة ثم تركه حرا. يعرف ثابت القوة بأنه القوة التي إذا أثرت على جسم أحدثت فيه وحدة الإزاحة، ويرمز له الرمز M . فإذا كان مقدار الإزاحة x، فتكون القوة التي تعمل على إعادة الجسم لحالة اتزان هي $M * x$ ، وتحدث هذه القوة عجلة تسارع، d^2x/dt^2 ، وإذا كانت كتلة الجسم m، فتأخذ معادلة الحركة الصورة.

القوة = الكتلة × العجلة

$$m * d^2x/dt^2 = -M * x$$

تعرف سعة الحركة التوافقية بأنها أقصى إزاحة للجسم، ومدى الحركة هو ضعف سعة الحركة، كما أن التردد هو مقلوب الزمن الدوري، وهو الزمن الذي يمضي بين وضعين متتاليين للجسم تتكرر فيهما حركته مقدارا واتجاها.

يمثل المقدار($\frac{1}{2} m * v^2$) طاقة الحركة للجسم في موضع معين بينما تمثل($\frac{1}{2} M * x^2$) الوضع للجسم في نفس المكان، ويكون مجموع الطاقتين مقدارًا ثابتًا دائمًا، ويساوي الطاقة الكلية للحركة التوافقية. تكون طاقة الوضع أكبر ما يمكن عند طرفي الحركة، بينما تكون طاقة الحركة أكبر ما يمكن عند مركز الحركة. يعد البندول نموذجا للحركة التوافقية البسيطة ويتركب من كتلة صلبة معلقة في خيط، وإذا أزيحت الكتلة جانبًا ثم تركت حرة فإنها تتذبذب في حركة توافقية تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

حركة الكواكب والجاذبية الأرضية Motion of Planets and Gravitation Force

وضع الفلكي كبلر ثلاثة قوانين في حركة كواكب المجموعة الشمسية:

- تتحرك كواكب المجموعة الشمسية في مسارات على شكل قطع ناقص وتكون الشمس في إحدى بؤرتي المسار.
- يقطع الخط الواصل بين الكواكب والشمس أثناء الحركة مساحات متساوية في أزمنة متساوية.
- يتناسب مربع الزمن الدوري للكواكب حول الشمس مع مكعب متوسط المسافة التي تفصلهما.

افترض نيوتن أن كواكب المجموعة الشمسية تتحرك في مسارات دائرية مركزها الشمس، وتنشأ عن حركتها قوة طاردة مركزية تتناسب عكسيا مع مربع متوسط

المسافة التي تفصل الكواكب عن الشمس. نتيجة لدوران الأرض حول نفسها، تتأثر جميع الأجسام عليها بقوة طاردة مركزية، وتعاكس هذه القوة على الجسم قوة جذب الأرض له. يصبح الوزن الظاهري للأجسام أقل ما يمكن عند خط الاستواء وكلما اقترب الجسم من القطبين ينقص نصف قطر الحركة الدائرية التي يتسبب عنها القوة الطاردة حتى تتلاشى تمامًا عند القطبين.

خواص السوائل الساكنة Properties of Static Liquids

يؤثر ضغط السائل المتزن عموديا على السطح، ويعرف هذا الضغط بقوة عمودية واقعة على وحدة المساحات من السطح، وتساوي وزن عمود من السائل ارتفاعه يساوي ارتفاع السائل من هذه النقطة وحتى السطح الحر للسائل، ومساحة مقطعة تساوي الوحدة. وتنص قاعدة باسكال Pascal Law على أنه إذا وقع أي جزء من سائل متزن، في حيز محدود تحت تأثير ضغط ما، فإن الضغط ينتقل غير منقوص إلى جميع أجزاء السائل. أما قاعدة أرشميدس Archimedes Low فتنص على أن السوائل أو الموائع تؤثر على أي جسم مغمور فيه، وذلك بالدفع من أسفل إلى أعلى مما يسبب نقص وزن الجسم ظاهريًا، ويؤثر هذا الدفع على الجسم سواء كان الجسم مغمورا كليا أو جزئيا ويكون الدفع مساو لوزن السائل الذي يزيحه الجزء المغمور من الجسم. والجسم الذي يطفو فوق سائل يكون متزنا تحت تأثير قوتين هما: ثقله إلى أسفل، ودفع السائل إلى أعلى.

أي إن : الدفع = وزن السائل المزاح = حجم الجزء المغمور من الجسم × الكثافة.

يعرف الوزن النوعي لجسم بأنه النسبة بين وزن الجسم في الهواء ووزن حجم من الماء يساوي حجم الجسم ويساوي عدديا كثافة الجسم. يستخدم الهيدروميتر Hydrometer لقياس الأوزان النوعية للسوائل.

الانتشار Diffusion هو عملية انتقال ذرات، أو جزيئات المادة في داخلها من مكان إلى مكان آخر. تنتشر الجزيئات عن طريق حركتها من الأجزاء ذات التركيز المرتفع إلى الأجزاء الأقل تركيزا. ومن ثم يعرف معامل الانتشار بأنه معدل تغيير كتلة المادة السائلة التي تعبر مساحة معينة في زمن معين.

تنتقل السوائل خلال الأغشية Membrane النصف نفاذة بدرجات متفاوتة، وتسمى هذه الظاهرة بالانتشار الأسموزي Osmotic Diffusion . توصل فانتهوف Vanthoff بالتجربة إلى أن الضغط الأسموزي لمحلول مخفف لملح لا يتحلل داخل المذيب، يساوي ضغط غاز تام، جزيئاته من نفس جزيئات المذاب، ويشغل نفس حجم المحلول.

تنص نظرية حركة المادة على أن جزيئات المادة دائمة الحركة في جميع الاتجاهات، فعندما تتصادم جزيئات السائل مع المعلقات بداخله تظهر هذه الحركة التي سميت باسم الحركة البراونية Brownian Motion ، على اسم مكتشفها.

تتغير سرعة حركة أي سائل يتدفق في أنبوبة حسب اتساع أو ضيق مقطعها، فكلما ازدادت الأنبوبة ضيقا كلما ازدادت سرعة سريان السائل. ولكي يتحرك السائل داخل أنبوبة يجب بذل كمية من الطاقة على شكل شغل يتحول إلى طاقة حركة.

تتعامل نظرية برنولي Bernoulli Theorem مع دارسة حركة السوائل في الأنابيب الرأسية. تنشأ الطاقة عند أي نقطة على الأنبوبة الرأسية من ثلاثة عوامل وهي:

- طاقة الوضع التي يكتسبها السائل من ارتفاعه عن سطح الأرض.
- طاقة الحركة التي يكتسبها السائل من سرعته.
- الشغل الآلي المبذول لدفع السائل من الأنابيب.

تسمى الخاصية التي تميز السائل من حيث استجابته للحركة باللزوجة Liquidity، والتي تنشأ عن وجود ما يشبه الاحتكاك بين طبقات السائل بعضها ببعض، وتتناسب اللزوجة طرديا مع قيمة هذا الاحتكاك. في تعريف آخر للزوجة: الممانعة التي تبديها طبقات السائل للحركة.

إذا زادت سرعة السائل عن حد معين تظهر حركة للسائل في اتجاه عمودي على اتجاه التدفق، تصل مركبة هذه الحركة إلى الصفر في حالة الحركة الخطية. تسبب هذه الحركة، حركة أخرى دوامية تمتص جزءا من طاقة حركة السوائل.

خواص الحالة الصلبة Properties of Solids

تتركب المادة بصفة عامة (غازية/ سائلة/ صلبة) من ذرات أو جزيئات، دائمة الحركة ويربط بينها قوى صغيرة جدا في حالة الغازات، وتكون أكبر في حالة السوائل، وكبيرة جدا في الأجسام الصلبة لدرجة أنها تحفظ للجسم شكله وحجمه بصفة دائمة، إلا إذا أثرت فيه قوى أكبر لتغيير شكله، أو درجات حرارة كبيرة لتغيير شكله وحالته . تتحرك جزيئات الغازات والسوائل عشوائيا لصغر قوى الربط بها، أما الأجسام الصلبة فتنقسم إلى نوعين: الأول مواد صلبة بلورية وفيها تترتب الذرات بانتظام على شكل خلايا تتكرر في المحاور الطبيعية الثلاثة، والثاني صلبة أمورفية أو غير بلورية مثل الزجاج والذي يعتبر سائلاً مبردًا بدرجة عالية، لصفاته قريبة الشبه من السوائل.

تستقر ذرات أو جزيئات المادة الصلبة في حالة اتزان داخلها تحت تأثير قوى بينية كبيرة، بعضها جاذب والآخر نافر، وترتبط شدة هذه القوى بنوع المادة. تتمثل هذه القوى في ثلاثة أنواع هي:

قوى كولومية: وتنشأ من تجاذب الشحنات الكهربية المختلفة على الذرات المجاورة، كما يحدث في حالة البلورات الأيونية.

قوى فان درفال: وتحدث نتيجة دوران الإليكترونات في مساراتها حول النواة محدثة ثنائيات قطب كهربائية تتجاذب مع بعضها بقوى تسمى بقوى فان درفال.

قوى التبادل: وتنشأ عندما يحدث انتقال إليكترون من ذرة إلى أخرى تجاورها، كما في الاتحاد الكيميائي ويسبب هذا الانتقال تلاصق الذرتين بقوى كبيرة.

أما القوى النافرة فتنتج بسبب تنافر السحب الإليكترونية المحيطة بكل ذرة، والتي يصبح تأثيرها كبيرًا جدًا عندما تقترب أي ذرتين من بعضهما لدرجة كبيرة.

إذا أثرت قوة على جسم صلب ونتج عنها تغيير في أبعاده أو في شكله، تحركت أجزاؤه بالنسبة لبعضها البعض، وإذا أزيلت القوة المؤثرة واستعاد الجسم شكله وحجمه الأصلي تمامًا، فإن الجسم يطلق عليه مصطلح مرن Elastic، أما إذا لم يستعد الجسم أبعاده وشكله؛ يكون الجسم لدن Plastic والقوى المؤثرة على الأجسام نوعان: الأول قوى ضاغطة Compression Forces أو قوى شد Tension Forces، والنوع الثاني هو قوى قاصة Torsion Forces وهي التي تغير من شكل الجسم وتحدث فيه إجهاد قصي، والإجهاد هو القوة المؤثرة على وحدة المساحات من الجسم.

الحرارة

انتقال الحرارة Heat Transfer

تنتقل الحرارة من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة من خلال ثلاث طرق:

١- **تيارات الحمل:** وهي انتقال الحرارة من جسمين موجودين في وسط غازي، على أن يكون أحد الجسمين ساخنًا والآخر باردًا، وذلك لأن طبقات الوسط الملاصقة للجسم الساخن تقل كثافتها بارتفاع درجة حرارتها، فترتفع إلى أعلى ليحل محلها طبقات أخرى باردة بكثافة أكبر، ويتسبب ذلك في وجود تيارين أحدهما ساخن صاعد والآخر بارد هابط.

٢- **التوصيل بالتلامس:** تتناسب طاقة حركة الجزيء طرديا مع درجة الحرارة، ولما كانت جزيئات المادة مترابطة بواسطة قوى تربط بنيانها، لذلك عندما يسخن جزء من المادة تزداد سعة حركته فينتقل جزء من طاقته إلى الجزيء المجاور مما يرفع درجة حرارته، وتستمر هذه العملية حتى الوصول إلى حالة الاتزان الحراري.

٣- **الإشعاع الحراري:** تنتقل الحرارة من الأجسام الساخنة إلى أي فراغ محيط بواسطة الإشعاع دون الحاجة إلى وسط ناقل للحرارة، فالإشعاع الحراري له نفس طبيعة الضوء من حيث إنه موجات كهرومغناطيسية يمكنها أن تنتقل في الفراغ. يعرف الإشعاع الحراري بكميته ونوعه، ويتوقف نوع الإشعاع الصادر من الجسم الساخن على درجة حرارته فقط وليس على طبيعة سطحه المشع.

الحرارة الكامنة والرطوبة Latent Heat & Humidity

عند تحويل جرام واحد من سائل إلى بخار دون تغيير في درجة حرارته يلزم له كمية من الحرارة تعرف بالحرارة الكامنة، تتحدد رطوبة الهواء بمقدار ما فيه من بخار الماء، ويطلق مصطلح الرطوبة المطلقة على كمية بخار الماء الموجودة في وحدة الحجم من الجو، تعرف الرطوبة النسبية بالنسبة المئوية بين كمية بخار الماء الموجود في حجم معين من الهواء إلى كمية البخار اللازم لتشبع نفس الحجم عند نفس درجة الحرارة.

الديناميكا الحرارية Thermo -Dynamics

هي علم يربط الحرارة بالطاقة الميكانيكية Mechanical Energy وتحويل أي منها إلى الآخر. يعتمد هذا العلم على قانون بقاء الطاقة الذي ينص على أنه إذا حدثت تغيرات نوعية في الطاقة داخل نظام معزول يكون مجموع الطاقات المتفاعلة قبل حدوث التغيير مساويًا لمجموع الطاقات بعد التفاعل. يعبر القانون الأول للديناميكا الحرارية عن العلاقة بين الشغل والحرارة، فعند تحويل كمية من الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية داخل نظام معزول فإنه يوجد تناسب بين هذه الكميات، ويسمى ثابت التناسب بالمكافئ الميكانيكي الحراري وتقدر قيمته بمقدار ٤.١٨ جول/سعر.

التغير الأدياباتي Adiabatic Change

إذا حدث تغيير على حالة نظام معزول حراريا سمي هذا التغيير أدياباتيا، فعند تمدد غاز مع ثبوت كمية حرارته، يكون الشغل المبذول في التمدد على حساب الطاقة الداخلية، وعليه تنخفض درجة حرارة الغاز لزيادة طاقته الداخلية بما يكافئ الشغل الخارجي المبذول عليه.

الأنتروبيا Entropy

يعرف القصور الحراري بأنه دالة من دوال الحالة لأي نظام حراري، مثل الضغط والحجم ودرجة الحرارة وهي دالة تفاضلية يمكن تكاملها وإيجاد قيمة لها. لا يوجد مقياس مباشر للقصور الحراري ولكن يمكن حساب قيمته من العلاقة.

$$ds = dQ/ t$$

حيث ds هو مقدار التغيير في القصور الحراري، dQ هو مقدار التغيير في كمية الحرارة، t هو الزمن.

إن الأنتروبيا هي مقياس لدرجة الفوضى في النظام Degree of Disorder، فعند تبريد غاز مع ثبوت حجمه، فيعني ذلك إزالة طاقة حرارية كانت مخزونة بداخله، وعليه تقل حركة جزيئاته وبالتالي تقل درجة الفوضى في حركة هذه الجزيئات، ويصاحب ذلك نقص أنتروبيا النظام. تعتبر أنتروبيا السائل أقل من أنتروبيا بخار السائل؛ لأن حركة جزيئات السائل أقل منها في بخاره، وإذا تم تبريد السائل لدرجة التجمد يكون أنتروبيا المادة الصلبة أقل منها في حالة سيولتها أي إن درجة الفوضى تتناقص في النظام كلما انخفضت درجة الحرارة، حتى تصل إلى درجة الصفر المطلق حيث تسكن تمامًا جميع الحركات في النظام، وبذلك تصل درجة الفوضى إلى الصفر، وتنص نظرية نرنست Nernst للحرارة على: "يتلاشى القصور الحراري لأي نظام إذا تواجد في الصفر المطلق".

الديناميكا الهوائية Aerodynamics

يختص هذا العلم بحركة الهواء، والقوى المؤثرة على المادة الصلبة من جراء التيارات الهوائية وتأثير الاضطرابات الهوائية عليها. بصفة عامة يمكن اعتبار الديناميكا الهوائية هي دراسة الهواء كحركة نسبية للأشياء السيارة مثل الطائرات والصواريخ والسيارات. بالنسبة للسيارات والطائرات تعتبر مقاومة الهواء عامل هام في عملية التصميم خاصة عند السرعات الكبيرة لكونها قوة مؤثرة عند هذه السرعات. أما بالنسبة للصواريخ، فيراعي المصمم الشكل الانسيابي للصاروخ لتقليل المقاومة وبالتالي زيادة سرعة الصاروخ ورفع كفاءة الانسيابية والنفاذ. توظف قواعد وأساسيات الديناميكا الهوائية أيضا في تصميم الأسطح، وناطحات السحاب، والكباري وغيرها من الإنشاءات الأخرى التي يكون لقوى الرياح تأثير على سلامتها وكفاءة عملها. بالإضافة إلى ذلك، يتعامل هذا الفرع من الديناميكا مع تحليل تأثير تيار الهواء المار داخل الأنابيب والقنوات أو أي موانع صلدة تقف في طريق تيار الهواء أو الرياح.

حيث إن المادة التي تتعامل معها الديناميكا الهوائية هي الهواء أو أي غاز آخر مماثل ومشابه للهواء، لذا يمكن اعتبار الديناميكا الهوائية جزء من فرع ديناميكا الموانع Fluid Dynamics . إن خواص الهواء لها الأهمية الرئيسية بجانب السرعة النسبية للهواء، وتتمثل هذه الخواص في درجة الحرارة، والكثافة، والضغط. تتحدد المواصفات القياسية للهواء عند ١٥ °م، الذي يبذل جهد ضغط يكافئ ٧٦سم من الزئبق، وعند خط عرض أو عند نطاق عجلة جاذبية Gravitational Acceleration تساوي ٩,٨١٣ متر مربع/ الثانية. لم يتحقق الإنسان إلا حديثا من أن الهواء له نفس النمط التدفقي Flow Pattern للموائع الأخرى، لكونه غازًا غير مرئي وليس في الإمكان رصد حركته.

يتحرك تيار الهواء حول جسم ما، من خلال مسارات معينة تعتمد على شكل الجسم وعلى سرعة الهواء. يمكن تمثيل انسياب تيار الهواء خطيًّا Graphically بواسطة

خطوط متوازنة -تقريبا- تسمى الخطوط الانسيابية Streamlines، كما يسمى تيار الهواء الغير مضطرب Undisturbed حول الجسم، بالانسياب الطبقي Laminar Flow. وعندما يتحرك الهواء حول سطح منحنى فإنه يتدفق بسرعة أكبر، وتتقارب الخطوط الانسيابية معا حتى يتجاوز تيار الهواء السطح المنحنى. وتحدث الحركة المضطربة الدوامية Turbulent، في حالة تحرك الهواء بسرعة كبيرة، وخروجه من الشكل الانسيابي، كما تبدأ دوامات الهواء في الظهور خلف الجسم، عندما يتدفق الهواء بجوار سطح الجسم، فإن الاحتكاك الناتج بين الهواء والجسم، يسبب تباطؤ سرعة الهواء، وقد يتوقف تماما تيار الهواء الملاصق للسطح. تسمى طبقة الحركة البطيئة للهواء بالطبقة المتاخمة Boundary Layer، بينما يسمى باقي تيار الهواء بالتيار الرئيسي Main Flow . تعرف القوى المبذولة على الجسم بواسطة تيار الهواء -من خلال الحركة النسبية- بقوى الديناميكا الهوائية Aerodynamic Forces، والتي تعتمد على عوامل كثيرة، أهمها السرعة النسبية للهواء ومقدار حجم الجسم.

الصوت Sound

عندما يهتز أي جسم، فإنه يعطي صوتًا عن طريق تفاعله مع الوسط المحيط، إذ تنتشر في الوسط أمواج من الاضطراب يحدثها الجسم المهتز في ذلك الوسط. وتنتقل الطاقة الصوتية من نقطة إلى أخرى في الوسط دون أي انتقال لذرة من ذراته أو جزيئاته. إذا كان تردد الجسم (F)، فإن جميع جزيئات الوسط تهتز بنفس التردد، وتأخذ شكلاً موجيًّا له حركة توافقية، تسمى المسافة بين أي نقطتين في الوسط يكرران نفس الحركة مقدارًا واتجاهًا بطول الموجة (L)، وفى الثانية الواحدة تنتقل الموجة مسافة تساوى ($F \times L$)، وهي سرعة انتقال الموجة في الوسط. تنطبق هذه العلاقة على جميع الحركات الموجية سواء كانت موجات صوتية، أو ميكانيكية، أو كهرومغناطيسية. وإذا انتقلت أكثر من موجة في وسط تتأثر جزيئات الوسط بجميع هذه الموجات، ويتحرك كل جزيء في حركة محصلة لهذه الموجات، ويتوقف الشكل الموجي على كل هذه الأمواج. والموجات الميكانيكية نوعان: موجات طولية

وموجات مستعرضة، والموجات الطولية هي التي يسبب انتشارها في الوسط حركة جزيئاته حركة توافقية بسيطة في اتجاه الانتشار، أما الموجات المستعرضة فيتسبب عنها حركة جزيئات الوسط في اتجاه عمودي على اتجاه الانتشار، وكلا النوعين عند انتشارهما في أي وسط غير محدود يكونا ما يعرف بالأمواج التقدمية Progressive Waves.

تعرف شدة الصوت بأنها معدل تدفق الطاقة خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشار الموجة، وتسمى أيضا بفيض الطاقة Energy Flux. وتتناسب شدة الصوت عكسيا مع مربع البعد عن مصدر الصوت، ويسمى هذا القانون بقانون التربيع العكسي في الصوت. وتساوي عجلة تسارع النقطة المادية في الوسط، مربع سرعة انتشار الموجة مضروبا في انحناء منحنى الإزاحة.

تتوقف سرعة انتشار الصوت في الوسط على صفتين أساسيتين له، وهما الكثافة والمرونة، تعتمد الكثافة على كتلة جزيئات الوسط في وحدة الحجم، أما المرونة فتعتمد على قوى الترابط بين جزيئات الوسط. وعند انتشار موجة صوتية خلال وسط ما، تنشأ فيه مناطق تضاغط، ومناطق تخلخل، تتذبذب عندها قيم الكثافة الجزيئية محليا حول قيمتها المعتادة. ويعرف التضاغط بأنه التغير النسبي في الكثافة عند نقطة معينة كما يعرف التخلخل بأنه التغير النسبي في الحجم عند نفس النقطة، ويساوي التخلخل مقدار التضاغط ولكن بإشارة سالبة.

الضوء Light

الضوء نوع من الأنواع المختلفة للطاقة مثل الطاقة الحرارية والكهربية، ترسل الأجسام المضيئة كالنجوم إشعاعها لتتأثر به العين عن طريق مباشر، أو عن طريق انعكاس الأشعة على الأجسام المرئية. إن الضوء جزء من الطيف الكهرومغناطيسي، ويقع في منطقة بين الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء.

تنشأ الموجات الكهرومغناطيسية عندما يثار إليكترون الذرة وينتقل إلى مستويات

طاقة أعلى ثم يعود إلى مستواه الأصلي مرة ثانية، فتنبعث الطاقة الزائدة على شكل كمات Quanta من الطاقة، أو فوتونات Photons لتكون الطيف الكهرومغناطيسي. ويتوقف طول موجة الفوتون المنبعث من الذرة على كمية الطاقة التي يحتويها الفوتون. وتقع موجات الضوء المنظور فيما بين أطوال الموجات من ثلاثة آلاف إلى ثمانية آلاف إنجستروم. ينتقل الضوء في الفضاء/ الفراغ بسرعة تساوي ثلاثة آلاف كيلو متر في الثانية الواحدة تقريبا. تتحرك فوتونات الضوء في خطوط مستقيمة، أو شبه مستقيمة طبقا لنظرية أينشتين عن الجاذبية للضوء، وتمثل حركة فوتونات الضوء بالأشعة. أما الخواص الأخرى للضوء فيمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- لا يحتاج الضوء لوسط ناقل، إذ يمكن للفوتونات الانتقال في الفراغ.
- يمكن للضوء أن ينعكس على السطوح المصقولة، كما يمكنه أن ينكسر عند انتقاله من وسط إلى آخر.
- للضوء طبيعة موجية، ولذلك يمكن له أن يتداخل، كما تظهر له ظاهرتي الحيود والاستقطاب، ولكن لا يتأثر بالمجالات الكهربية أو المغناطيسية.

تعرف قوة إضاءة مصدر ضوء بأنها كمية الضوء التي تسقط عموديا على وحدة مساحات موضوعة على بعد وحدة الطول من المصدر. وتعني الطاقة الضوئية، كمية الطاقة الموجودة في الإشعاع الكهرومغناطيسي في المنطقة المنظورة من الطيف، ويعرف بأنه التكامل الزمني للفيض الضوئي المنبعث من المصدر. ويعرف الفيض الضوئي بأنه كمية الطاقة الضوئية المنبعثة من المصدر في الثانية الواحدة، وتقاس بوحدة «لومن» Lumen.

الطيف Spectrum

ينقسم الطيف المنظور إلى نوعين:

١- طيف انبعاث Emission Spectrum وينقسم إلى ثلاثة أنواع وهي: طيف مستمر Continuous، وطيف خطي Linear وهو خطوط مضيئة ملونة تختلف في شدة

إضاءتها، وطيف شرطي Band وهو الذي ينتج من إثارة الجزيئات بدلا من الذرات.

٢- طيف امتصاص Absorption Spectrum وينقسم إلى نوعين: الأول طيف امتصاص خطي وهو طيف انبعاث مستمر تظهر عليه خطوط معتمة، والثاني طيف امتصاص شريطي وهو طيف انبعاث مستمر ولكن يتخلله شرائط معتمة.

اكتشف نيوتن في النصف الثاني من القرن السابع عشر أن ضوء الشمس إذا مر في منشور ثلاثي يتحلل إلى سبعة ألوان تعرف بألوان الطيف، وهي: الأحمر والبرتقالي والأصفر، والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي، يعتبر اللون الأحمر أقل انكسارا في المنشور، بينما اللون البنفسجي أكثرها انكسارًا. وجد هيرشل بعد ذلك أن أسفل منطقة الأشعة الحمراء أشعة أخرى غير مرئية تسمى بالأشعة تحت الحمراء، كما وجد رايتر أشعة فوق بنفسجية، والطيف المرئي هو جزء صغير من الطيف الكهرومغناطيسي، وتتسم أمواج الطيف بعدم انحرافها نتيجة لوجودها في مجال كهربي أو مغناطيسي، كما يوجد لها خواص الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب.

نظرية الكم لبلانك Blanck Quantum Theory

يؤدي رفع درجة حرارة الجسم الصلب إلى انبعاث إشعاع حراري يمكن الإحساس به باللمس، وإذا ما استمر رفع درجة الحرارة فإن الجسم الصلب يتحول لونه إلى الاحمرار ثم يتوهج مرسلا ضوءا أبيض اللون، أي يبدأ الجسم في إرسال الأشعة الحمراء، ثم تتوالى جميع ألوان الطيف، حتى اللون البنفسجي، وعندئذ تختلط ألوان الطيف المنظور كلها لتعطي وهجًا أبيض للجسم الساخن، قام ماكس بلانك في مطلع القرن العشرين بدارسة تفسير هذا الإشعاع الذي تصدره الأجسام الساخنة غير العاكسة، وهي ما تسمى بالأجسام السوداء. إن إشعاع الجسم الأسود عبارة عن طيف مستمر، له نهاية عظمى، ويتسبب رفع درجة حرارة الجسم عن إزاحة النهاية العظمى جهة أطوال الموجة القصيرة. وجد فين Wien عمليًّا من قياسات

النهاية العظمى للطاقة، أن الطول الموجي عند نقطة القمة يتناسب عكسيا مع درجة الحرارة المطلقة، وهو ما يعرف بقانون الإزاحة، أوجد بلانك العلاقة الصحيحة بين الطاقة المشعة عند طول موجي معين على امتداد الطيف، بحيث تتناسب الطاقة المشعة مع درجة الحرارة المطلقة للجسم، وسرعة الضوء، مع وجود ثابتين وهما: ثابت بولتزمان، وثابت بلانك.

توصل بلانك إلى فكرة كمة الطاقة Energy Quantum من خلال أبحاثه في وضع الأساس الرياضي لقانونه الخاص بالطاقة المشعة للأجسام الساخنة، وتوصل إلى أن الجسم الساخن لا ينبعث منه طاقة إشعاعية بشكل متصل دائمًا، وإنما تخرج منه طاقة إشعاعية على شكل نبضات غير متصلة، لكل منه طاقة محددة تسمى «كمة» وهي غير قابلة للتجزئة، تتناسب كمية الطاقة التي تحتويها الكمة تناسبا طرديا مع ترددها. افترض بلانك أيضًا أن أي متذبذب، أو نظام مهتز لا يمكنه الاهتزاز بأي طاقة، ولكن يهتز فقط عند طاقات معينة وليس عند غيرها.

أشعة الليزر Laser Radiation

من خواص الإليكترون أنه لا يشع طاقة إذا كانت حركته تدور في مدار مستوى الطاقة الواحد، ولكن إذا خرج من مدار خارجي إلى مدار آخر داخلي ينبعث فوتون له طاقة تساوي الفرق بين مستوى طاقة المدارين. نجد أيضًا أن ذرات مصادر الضوء المعتادة -كالمصابيح- تستثار وتشع بطريقة عشوائية، فيكون الضوء المنبعث خليطا من موجات ليس لها اتجاه انتشار محدد، ولا يربط بينها طور واحد. يوصف شعاع الضوء بأنه أحادي اللون وغير مترابط Non-Coherent، إذا تكون من كمات لها نفس الطول الموجي لكنها تختلف في الطور، لأنه وإن كانت قد نشأت من نفس الانتقال الإليكتروني، إلا أن كلاً منها انبعث من ذرة مختلفة في أزمنة مختلفة، ولذلك يحدث بينها ظاهرة التداخل لأنها تقوى بعضها إذا تطابقت في الطور، وتلغي إحداهما الأخرى إذا اختلفتا في الطور بزاوية مائة وثمانين درجة.

يختلف شعاع ضوء الليزر عن الضوء العادي في أن جميع ذرات المادة التي يخرج منها الضوء تشع فوتوناتها في نظام اتحادي توافقي In-Unison، أي إن الإليكترونات في الذرات المختلفة تقفز معا في نفس الوقت، أو على فترات بينها زمن دوري واحد، أو مجموعة أزمنة دورية كاملة لذبذبة موجة الضوء المشع، أيضا تخرج الفوتونات جميعا في نفس الاتجاه، ويكون نتيجة ذلك حدوث تداخل تقوية بين جميع الفوتونات في الشعاع الذي يمكن اعتباره حينئذ بأنه مترابط، حيث تتطابق كل قمة وكل قاع في الموجات المختلفة، وتكون عندئذ السعة الكلية متناسبة مع عدد الذرات، وعلى ذلك تكون شدة الضوء متناسبة مع مربع عدد الذرات، مما يجعل للشعاع المترابط طاقة ضخمة جدا بالنسبة للشعاع الغير مترابط.

يمكن إنتاج أشعة الليزر بطرق مختلفة، ولكنها جميعًا تعمل بنفس المبدأ وهو تكبير الضوء بواسطة الانبعاث المستثار للإشعاع. بنى أول جهاز لإطلاق أشعة الليزر عام ١٩٦٠ باستخدام بلورة من الياقوت Ruby، وكانت الأشعة تخرج منه على شكل نبضات متقطعة. ثم استخدم بعد ذلك ليزر الهيليوم/النيون، وهو يعطي شعاعًا ضوئيا متصلا. ويتصل جهاز إنتاج أشعة الليزر في أنبوبة زجاجية تحتوي على غازي الهليوم والنيون تحت ضغط منخفض نسبيا، يثبت عند طرفي الأنبوبة لوحان مستويان ومتوازيان، اللوح الأول مفضض ويعمل كمرآة تعكس كل الضوء الساقط عليها، بينما اللوح الثاني المقابل فهو نصف مفضض ليسمح بمرور جزء من الضوء الساقط عليه من الداخل لكي ينفذ من خلاله ويغادر الأنبوبة.

عند توصيل قطبي الأنبوبة بفرق جهد مرتفع يحدث في الغازات بداخلها تفريغ كهربي ويمر تيار في الأنبوبة، تتصادم الإليكترونات مع ذرات الهيليوم وتسبب إثارة إليكتروناتها إلى مدارات خارجية، وتتصادم أيضًا ذرات الهيليوم المثارة بذرات النيون، فتنتقل كمية من الطاقة إلى النيون الذي تقفز إليكتروناته بدورها لمدارات مثارة، أي إن ذرات الهيليوم تكون بمثابة مصدر للطاقة بالنسبة لذرات النيون. يوجد حالة مؤقتة الاستقرار لذرة الهيليوم يقاوم فيها الإليكترون المثار هبوطه إلى المدارات

الداخلية، وذلك عندما تكون الطاقة أعلى بما قيمته ٢٠,٦ إليكترون فولت عن الحالة الداخلية، وعندما تصطدم الذرة المثارة بذرة النيون، تأخذ ذرة النيون الطاقة من ذرة الهيليوم، وتصبح في حالة مستثارة ولكن أكثر استقرارا من حالة ذرة الهيليوم، لذا لا يهبط الإليكترون فيها إلى حالة أدنى دفعة واحدة. تستمر إثارة ذرات النيون التي تصبح في حالة انتظار حتى تشع طاقتها، وحينئذ تخرج كل ذرة فوتونا ضوئيا طوله الموجي ٦٣٢٨ إنجستروم، يقع في المدى الأحمر من الطيف وتكون جميع الفوتونات في نفس الطور، وتخرج في نفس اللحظة فتكون شعاع الليزر، يحدث انطلاق جميع الفوتونات مرة واحدة عندما تنطلق كمة كهرومغناطيسية (فوتون) يكون لها نفس الطول الموجي، فتحدث حالة رنين بين المجال الكهرومعناطيسي المتذبذب للفوتون وذرات النيون المستثارة، فتنطلق فوتوناتها متحدة تماما في الطور مع الإشعاع الأصلي الذي أحدث الرنين.

تركيب الذرة

تتكون الذرة من نواة يوجد عليها الشحنة الموجبة وتحتوي على كل كتلتها تقريبا، كما توجد إليكترونات حول النواة على أبعاد تبلغ حوالي مائة ألف مرة نصف قطر النواة. تتكون النواة من بروتونات ونيترونات، والبروتون هو نواه ذرة الهيدروجين، وشحنتها موجبة، وتساوي عدديا شحنة الإليكترون وهي١.٦×١٠$^{-١٩}$ كولوم، أما كتلة البروتون فهي ١.٦٧٣× ١٠$^{-٢٧}$ كيلو جرام.

والنيترون هو جسم متعادل كهربيًا، ولا شحنة له، وكتلته تســـاوي ١.٦٧٥× ١٠$^{-٢٧}$ كيلو جرام. يوجد في نواة أي ذرة عدد Z من البروتونات يسمى بالعدد الذري، ويعرف بكمية الشحنة الموجبة Ze+ الموجود على النواة، ويختلف الوزن الذري M للمادة عن العدد الذري لوجود نيترونات داخل النواة فيما عدا ذرة الهيدروجين، ويسمى عادة مكونات النواة من برتونات ونيترونات، بالنلكونات Nucleons، ويسمى عدد النكولنات بالنواة بالعدد الكتلي.

يصل قطر نواة الذرة إلى حوالي 10^{-12}سم، ويصاحب المجال الكهربي بداخلها، قوى نووية تعمل على التجاذب الشديد جدا بين النكلونات. إن هذه القوى ليست قوى كولومية إذ أن الديوترون الذي يتركب من بروتون موجب ونيوترون غير مكهرب يكون نواة مستقرة، كما لا يمكن أن تكون قوى جاذبية، لكونها أصغر بكثير من أن تفسر قوة الترابط بين النكلونات. إذا اعتبرنا بروتونين في نواة ذرة يكون البعد بينهما حوالي 3×10^{-12}سم، وتكون قوة التنافر الكولومي بينهما ٢٥.٦ نيوتن وهذه القوة كبيرة نسبيا، ويجب لكي تستقر معها النواة أن توجد قوة جذب نووية معادلة لها وتساويها على الأقل في المقدار. دلت تجارب ريذرفورد تشتت جسيمات ألفا، على أن هذه القوى النووية قصيرة المدى، مما يعطى النواة حدودا واضحة تتلاشى بعدها قوة الجذب النووي بسرعة كبيرة، وبعد تجاوز هذه الحدود يتبقى فقط القوى الكولومية. بفرض أن جسيما كالبروتون يتحرك في اتجاه النواة بسرعة كبيرة، فإنه يكون كمن يتسلق جبلا، وتتحول طاقة حركته إلى طاقة وضع، فإذا لم يكن لديه من الطاقة ما يوصله إلى قمة جبل الطاقة عند الحدود النووية، فإن البروتون يستطير، أما إذا وصل إلى هذه الحدود بما لديه من طاقة فإنه يسقط في بئر جهد النواة، حيث يبدأ التحول المستحث للنواة وتحدث حينئذ ظاهرة النشاط الإشعاعي الصناعي.

النقص الكتلي وطاقة الترابط Mass Defect & Binding Energy

ينشأ عن وجود قوة جذب كبيرة داخل النواة بين البروتونات والينترونات طاقة ترابط، تعرف بالطاقة اللازمة لنكلونات النواة لتنفصل عن بعضها البعض تماما. تستخدم قاعدة أينشتين لتكافؤ الطاقة لتعيين طاقة الترابط النووي، فإذا تم جمع كتل البروتونات الحرة التي تكون نواة الذرة، فإن حاصل الجمع يكون أكبر من كتلة النواة التي تتركب من نفس أعداد البروتونات والنترونات، ويمثل هذا النقص في الكتلة Δm طاقة الترابط النووي ΔE وفقًا للمعادلة:

$\Delta E = \Delta m \times c^2$ ، حيث c هي سرعة الضوء.

ويعتبر مصدر الطاقة الشمسية هو التحول من كتلة إلى طاقة، حيث يتحول فيها البروتونات والنيوترونات لتكون نواة ذرة الهليوم في تفاعل نووي.

الانشطار النووي Nuclear Fission

يتزايد النقص الكتلي للعناصر الموجودة عند طرفي الجدول الدوري عن مثيلاتها من العناصر في منتصفه، وعلى ذلك فإن أمكن شطر نواة ذرة ثقيلة مثل اليورانيوم عددها الذري Z، إلى نصفين يحمل كل منهما شحنة Z/2 وكتلتاها متساوية فإن كتلة كل منهما تكون أكبر كثيرًا من كتلة النواة المستقرة المعروفة للعنصر الذي له عدد ذري Z/2، وذلك بسبب النقص الكتلي، ولكي تحدث عملية الانشطار يجب أن تتحرر كمية من المادة تكافئ النقص الكتلي، على شكل طاقة حرة وفقًا لقانون أينشتين لتكافؤ الكتلة والطاقة.

ولكي تحدث عملية الانشطار، يستلزم وجود مؤثر خارجي كقذف النواة بجسم معجل، وجد أن النيوترون هو أنسب الجسيمات لهذا الغرض، إذ إنه عديم الشحنة فلا يتفاعل مع المجالات الكهربية في النواة، وإنما يفقد طاقته فقط عن طريق التصادم المباشر بالنوى. ولما كانت كتلته كبيرة نسبيا لذلك فإنه بتصادمه مع النواة يعطيها جزءًا ملموسًا من طاقته وكمية حركته، مما يسمح بحدوث الانشطار.

الاندماج النووي Nuclear Fusion

يعتبر الاندماج النووي العملية العكسية للانشطار النووي، بما أن النقص الكتلي للنوى الخفيفة أكبر بكثير من النوى المتوسطة، فإن اندماج القوى الخفيفة يحرر مقادير كبيرة من الطاقة. مثلا ينتج اتحاد بروتونين ونيوترونين لتكوين نواة هيليوم قدرا من الطاقة يزيد على ٢٧ مليون إليكترون فولت. تتمثل صعوبة تطبيق عمليات الاندماج النووي في أن الشحنات الكهربية على النواة تساعد على عملية الانشطار عن طريق التنافر، بينما في حالة الاندماج يعوق التنافر الكولومي تقريب النوى الخفيفة من بعضها، بدرجة تسمح للقوى النووية أن تمسكها معا. لم تنجح عملية الاندماج

النووي إلا في حالة القنبلة الهيدروجينية، حيث يتم إشعال التفاعل الاندماجي بواسطة قنبلة من النوع الانشطاري، وتعمل الحرارة الهائلة الناشئة عن التفجير الانشطاري على بدء التفاعل النووي الاندماجي لذرات الهيدروجين وتكوين الهليوم وتحرير مقدار النقص الكتلي على صورة طاقة.

الجسيمات الأولية Elementary Particles

كانت نتيجة قذف بعض الجسيمات بأخرى وبكميات حركة غاية في الكبر، ظهور أنواع كثيرة وجديدة من الجسيمات بخلاف الإليكترونات والبروتونات، والنيوترونات. كان قانون بقاء الطاقة وقانون تحول طاقة الحركة إلى كتلة هما الأساس في اكتشاف هذا السيل من الجسيمات، والعدد المعروف حتى الآن يبلغ حوالي ثلاثمائة، والتي تزيد كتلة البعض منها عن كتلة البروتونات والنيوترونات. وجد العلماء في القرن الماضي أن البروتونات والنيوترونات وغيرها من الجسيمات الجديدة -والتي سميت بالجسيمات الأولية- تتكون من وحدات أصغر، يتكون منها بنيان تلك الجسيمات تسمى بالكوارك Quark، والتي تعتبر اللبنة الأساسية والحقيقية للمادة.

النيوترينو Neutrino

اكتشف النيوترينو من خلال الانحلال البائي B-Decay لنوى الذرات المشعة، يعتبر طيف الطاقة لجسيمات بيتا من النواة مستمرًا، وعند اضمحلال النواة تنقص كتلتها بقدر محدد. وبفرض صحة نظرية تكافؤ الكتلة والطاقة، فإن جسيمات بيتا تخرج بطاقات محددة ولكن ليست على أي قدر منها، وللحفاظ على قانون بقاء الشحنة والطاقة، فيفترض خروج جسيم آخر مع جسيم بيتا تكون شحنته صفرًا، أي جسيم متعادل الشحنة ولكن يمكن له أن يكون على أي قدر من الطاقة، بحيث يكون مجموع طاقته وطاقة الإليكترون المنبعث من النواة ثابتًا، وأطلق على هذا الجسيم اسم النيوترينو. والمعتمد أن النيوترينو يصاحب انبعاث البوزتيرونات B^+، بينما يصاحب الإليكترونات B^- جسيم ضديد يسمى ضديد النيوترينو Anti-Neutrino. تصنف هذه

الجسيمات الخفيفة في مجموعة واحدة يطلق عليها اسم الليبتونات Leptons، وأهم هذه الليبتونات هو الإليكترون، والميون الذي يشبه الإليكترون تماما من حيث الشحنة وشكل الحركة، ولكنه أثقل منه حوالي ٢٠٧مرة. وبالرغم من وجود النيوترينو والميون بكميات وفيرة جدا في الطبيعة، إلا أنها لا تدخل في تركيب ذرات المواد. ينتج العديد من الميونات عند اصطدام الأشعة الكونية الابتدائية بالغلاف الهوائي لجو الأرض، لذلك تعتبر أشعة كونية ثانوية، كما أن النيوترينو ينتج من خلال التفاعل النووي في الشمس ولذلك فإنه يوجد في كل مكان في الفضاء.

الأشعة الكونية Cosmic Rays

وجد بالبحث أن الإليكترومترات تفقد شحنتها تدريجيا مهما كانت معزولة عزلا جيدا عن أية إشعاعات معروفة، والإليكترومترات هي عبارة عن غرفة تأين، بها زوج من الألواح المعدنية تكون مكثفا متوازي الألواح، ويوجد بها غاز أو هواء بين الألواح. يسبب فرق الجهد بين الألواح، انحرافًا في ورقة ذهبية أو سلك رفيع، يستخدم كمقياس لمقدار الشحنة فوق لوحي المكثف. اعتقد العلماء بوجود إشعاع قوي صادر، من تحت سطح الأرض أو من الجو الخارجي، هو الذي يسبب فقد الإليكترومترات لشحناتها، وجد العلماء أن كمية الإشعاع المؤين الساقط على الاليكترومتر تتناقص أولا بالارتفاع عن سطح الأرض، ثم بعد ذلك تزداد كمية الأشعة مما يشير إلى أن مصدرها هو الكون الخارجي، ولذلك سميت بالأشعة الكونية. وبدراسة طبيعة هذه الأشعة وجد أنها تحتوي على جسيمات مشحونة تتأثر حركتها بفعل المجالات المغناطيسية، وبالرغم من أن شدة الأشعة الكونية، التي تسقط على الأرض من جهة الشمس، تتأثر كثيرًا بحدوث البقع الشمسية Sun Spots، إلا أن معظم هذه الأشعة تسقط من جميع الاتجاهات بشدة منتظمة، مما يؤكد أنها تصدر من الفضاء الخارجي وليس فقط من الشمس.

البـاريونات والميزونات Baryons and Mesons

يطلق اسم الباريونات على مجموعة مثل البروتونات والنيوترونات، وجميعها جسيمات ثقيلة تتراوح كتلتها ما بين كتلة البروتون، وثلاثة أمثال هذه الكتلة. الباريونات مثل الليبتونات لا تتخلق أو تفنى إلا في وجود الجسم الضديد. والضديد يكون له نفس كتلة الجسيم وكذلك حركته، ولكنه يختلف معه في الشحنة، فهو يحمل شحنة معاكسة لشحنة الجسيم. أما الميزونات فلها كتلة وسط بين الليبتونات والباريونات، ويمكن للميزون أن يظهر ويختفي دون ظهور ضديد له . يعتبر ميزون ميو الذي اكتشفه العالم يوكاوا عام ١٩٣٥ من أهم الميزونات. افترض يوكاوا وجود قوى نووية قصيرة المدى تعمل بين النكلوات التي تتماسك مع بعضها في الأنوية بمجال قوة يسمى بالمجال الميزوني، ويصاحب هذا المجال انطلاق ميزونات بكيفية تشبه الكيفية التي تصاحب ظهور الفوتونات في المجال الكهرومغناطيسي الموجود بين الجسيمات المشحونة. وعلى أساس هذه النظرية افترض يوكاوا انبعاث ميزونات تكون كتلتها وسطا بين كتلة الإليكترون والبروتون، ويمكن أن تحمل شحنة أو لا تحمل شحنة على الإطلاق. تحقق بعد ذلك نيدير ماير وعلماء آخرون من وجود ميزون ميو عمليًا من خلال دراسة للأشعة الكونية، وتم قياس كتلته عن طريق قياس انحناء مساره في المجال المغناطيسي، وكثافة التأين على طول هذا المسار، ووجد أن كتلته تبلغ ١٤٠ مليون إليكترون فولت، وأنه جسيم غير مستقر عمره الزمني قبل أن يضمحل تلقائيا بعد حوالي ٢.١٥ ميكروثانية، وأنه يتحلل في نهاية عمره مع انبعاث إليكترون أو بوزيترون، كما يظهر نيوترينو وضديده عند نهاية الاضمحلال.

الكوارك Quark

وضع العلماء النظريين للفيزياء الذرية نموذجًا للتركيب الداخلي للبروتونات والنيوترونات وجميع الجسيمات مفاده أن الجسيمات بأنواعها تتركب أساسًا من ثلاثة أنواع من لبنات أساسية تسمى بالكوارك، ونظرًا لعدم التحقق عمليا بشكل قاطع بوجود الكوارك، لذلك فمن المعتقد أنها لا تظهر منفردة، ربما بسبب وجود قوة غير

عادية تربطها داخل الجسيمات مما يمنع هروبها فرادى، ويسمى هذا النوع الجديد من القوة بقوة اللون Colour Forces يذهب العلماء من منطلق ميكانيكا الكم أن الكوارك توجد على صور ثلاث، يميزها الألوان: الأحمر والأخضر والأزرق، وأن هذه العلامات التي تميز الكوارك لا تمت بصلة للألوان المألوفة، ولكنها هي صفات مميزة للمادة، وتبقى دائما هذه العلامات مختفية داخل الجسيمات، حيث إن جميع الجسيمات لا لون لها.

يرجع العلماء مصدر القوى بين الكوارك إلى لونها، مثلما ترجع قوى الجاذبية إلى الكتلة والقوى الكهربية إلى الشحنة. أدخل العلماء مجال القوى اللونية ضمن مجالات القوى الأساسية، ويسمي العلماء هذه النظرية الجديدة لقوى اللون بديناميكا اللون الكمية Quantum Chromo-dynamics. وتفسر وجود قوى اللون بين الكوارك إلى رابطة كبيرة، يحدثها تبادل الكوارك فيما بينها لجسم معين أطلق عليه اسم الجلون Gluon، وقد شبه هذا الانتقال إلى حد ما بتبادل فوتون بين جسمين مشحونين. إن جسيم الجلون هو ذرة حاملة للون. اكتشف العلماء حتى عام ١٩٨٤ وجود ستة كوارك وستة ضديدات لها، كما أن الكوارك يمكن أن يكون له ثلاثة ألوان، لذلك يكون العدد الكلي للكوارك -المكتشفة حتى الآن- ستة وثلاثين نوعًا.

أينشتين والنظرية النسبية Einstein and Relativity Theory

ولد ألبرت أينشتين عام ١٨٧٩ في ألمانيا وعاش كأعظم عالم فيزياء على مدى العصور. وضع أينشتين نظرية النسبية الخاصة Special Relativity في عام ١٩٠٥، والتي تمخضت من مشكلة وضعته في حيرة لسنوات عديدة وهي: إذا قدر لإنسان أن يرتحل في الفضاء بسرعة تساوي سرعة شعاع الضوء، فكيف لهذا الإنسان أن يصف هذا الشعاع؟... طبقًا للفكرة العامة للحركة النسبية، فإن الإشعاع سيبدو كمجال كهرومغناطيسي متذبذب Oscillating Electromagnetic Field، ولكن في حالة سكون. من هذه النقطة، بدأ أينشتين في التفكير في أن قوانين الطبيعة -شاملة تلك التي تختص بانتشار الضوء- يجب أن تظل كما هي لكل ملاحظ Observer بغض النظر عن

سرعته بالنسبة للملاحظ الآخر. وبالرغم من هذه الفكرة التي طرأت عليه، فقد أخذ التفكير منه سنوات طوال، للوصول إلى الحقيقة التي توصل إليها وهي أن سرعة الضوء لا تعتمد على سرعة الملاحظ. تعارضت النتيجة التي توصل إليها أينشتين مع النظرية التقليدية للسرعة النسبية والتي قامت عليها نظريات نيوتن في الميكانيكا والحركة. تحقق لأينشتين أن قياس الحركة يعتمد فقط على مبدأ التزامن Simultaneity، أي حدوث الأحداث في وقت واحد. جاءت المرحلة الحاسمة في تفكير أينشتين عندما توصل إلى أن هذه الفكرة البديهية للقياس هي فقط للأحداث التي تحدث في نفس المكان، فعندما نراقب حدث على مسافة ما، فإننا نستنتج وقت حدوثه بالرجوع إلى الفروض الخاصة بالمسافة بين مراقب الحدث ومكان حدوث الحدث، وإلى سرعة الضوء. ومن ثم قرر أينشتين التخلي عن الأفكار التقليدية وعن الوقت والحركة، واستبدلهما بقاعدة النسبية كأساس ومبدأ لاتجاهه الفكري، وخاصة أنه اعتبر ثبوت سرعة الضوء هي الوسيلة التي سوف يتخذها لمقارنة الوقت بالنسبة للراصدين للحركة النسبية المنتظمة. وجد أينشتين أن حركة عقارب الساعة التي على الحائط تبدو بطيئة -لمراقب الحركة- بالنسبة لحركة عقارب الساعة اليد، كما توصل أيضا إلى كتلة القصور الذاتي Inertial Mass للجسم تتزايد مع السرعة، وعليه فلن يستطيع أي جسم أن يكتسب سرعة تساوي سرعة الضوء والتي يمكن اعتبارها الحد الأقصى للسرعات، وعندها يصل كتلة الجسم إلى مالا نهاية Infinity. قادت العلاقة بين الكتلة والسرعة إلى أن يستنتج أن الكتلة والطاقة ما هما إلا شيئان مختلفان ظاهريًّا، ولكنهما في الحقيقة شيء واحد، ومن خلال هذا الاستنتاج توصل العلماء إلى تفسير تحرر الطاقة الهائلة من التحويل النووي، وخاصة مصدر الطاقة التي تبثها الشمس من خلال إشعاعاتها.

جاءت نظرية النسبية الخاصة تتويجًا لبحوث فيزياء القرن التاسع عشر، خاصة ما توصل إليه ماكسويل من أن جميع الظواهر الكهربية والمغناطيسية تجمعهما نظرية كهرومغناطيسية موحدة تأكد وجود موجات تسير بسرعة الضوء. كان الاعتقاد في

ذلك الوقت، وجود وسط تام المرونة يستطيع حمل موجات الضوء ويسمى بالأثير، لذا افترض أيضًا أنه الوسط الناقل للموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر بداخله، أثبت ماكسويل أن الإشعاع الكهرومغناطيسي هو نتيجة للحركة المعجلة لشحنة كهربية، كما تنبأ بأن سرعة الشعاع تساوي ثلاثمائة ألف كيلو متر في الثانية الواحدة، وهي سرعة ثابتة لا تتغير. استمرت فكرة أن الأثير يمثل نظامًا مطلقًا بالنسبة للحركة الموجية، إلى أن جاءت تجربة مايكلسون Michelson، ومورلي Morely في عام ١٨٨٧ ، لتبين أن سرعة الضوء واحدة سواء كان الراصد يتحرك مع ضوء أو ثابتًا في مكانه، وبذلك قضت التجربة على فكرة الأثير. اقتنع أينشتين بصحة تجربة مايكلسون ومورلي، وكذلك بعدم وجود نظام قصوري مفضل بالنسبة لموجات الضوء. والنظام القصوري هو نظام للإحداثيات ينطبق فيه القصور، الذي ينص على أن الجسم الساكن يظل ساكنًا ما لم تؤثر فيه قوة غير متوازنة تكسبه عجلة Acceleration. تقوم نظرية أينشتين للنسبية الخاصة على فرضيتين أساسيتين وهما:

أن جميع قوانين الظواهر الطبيعية واحدة في كل النظم القصورية، كما تأخذ نفس الصور الرياضية، فمثلاً يمكن التعبير عن قانون نيوتن الثالث بالمعادلة $F = m * a$ في أي نظام، ولكن قد يكون للقيم a, m, F نفس القيم في كل نظام.

أن سرعة الضوء في الفراغ ثابتة دائمًا وتساوي ٣×١٠ ^٨ متر/ث، بغض النظر عن سرعة المصدر الضوئي نفسه أو سرعة الراصد.

وعليه لا توجد السرعة المطلقة، فكل شيء نسبي، وتتحدد السرعة فقط بالنسبة للآخر، فيمكن قياس سرعة السيارة بالنسبة لسرعة الأرض، ويمكن قياس سرعة الأرض بالنسبة للشمس -ومن ذلك يمكن قياس سرعة السيارة بالنسبة للشمس- وحيث إن الأرض تتحرك في مجرة درب التبانة والمجرة تتحرك في الكون الفسيح مع بلايين من المجرات الأخرى، لذلك يمكن فقط قياس سرعة جسم بالنسبة لجسم آخر في الكون الذي يعتبر المنظومة الكاملة، والمعروفة حتى الآن.

نشر أينشتين في نهاية عام ١٩٠٧، بحثًا هامًا عن الحقيقة المتميزة للجاذبية، وهي تماثل قوى الجاذبية داخل نطاق منطقة صغيرة، فجميع الأجسام تسقط بنفس الجاذبية، وعليه لا توجد عجلة Acceleration نسبية بين الأجسام الساقطة، وعلى ذلك فإن الحركة في مجال جاذبية متماثل Uniform Gravitational Field، يكافئ الحركة المنتظمة بالنسبة لإطار مرجعي لعجلة متوافقة معه. أصبحت «قاعدة التكافؤ» Principle of Equivalence -كما أطلق عليها أينشتين هذا المصطلح فيما بعد- هي أساس النظرية النسبية العامة. شرح أينشتين نظريته في النسبية العامة من خلال ورقة عمل نشرت في عام ١٩١٦، بعد أن تخلى عن القيود التي وضعها على قاعدة النسبية، بالنسبة للراصدين للحركة النسبية المنتظمة، والتي ميزت نظريته في النسبية الخاصة. وتوصل أينشتين إلى أن جميع قوانين الطبيعة يمكن التعبير عنها بشكل واحد وثابت، لكل الراصدين لأي نوع من أنواع الحركة النسبية، وفي نفس الوقت قام أينشتين بالتخلي عن أفكار نيوتن في نظرية الحركة، والتي تضمنت التمييز بين العجلة التي تلازم فعل القوة Action of Force ، والحركة المنتظمة. وأخيرًا اكتشف أينشتين أن الحركة الناتجة من فعل الجاذبية يمكن أن توصف في شكل مماثل للخطوط المستقيمة، ولكن في منظومة يتحد فيها الزمان مع المكان Space- Time Dimension، ومختلفًا عن الهندسة الإقليمية Non-Euclidean Geometry ، بحيث تتمثل الحركة في أربعة أبعاد بدلاً من ثلاثة (الأحداث الإقليدية الثلاث X,Y,Z، بالإضافة إلى البعد الرابع وهو الزمن)، وجد أينشتين أن نظريته في النسبية العامة يمكن تطبيقها في ثلاثة تطبيقات -لا تستطيع نظرية نيوتن احتواءها- وهي:

- حركة الكواكب والنجوم في الفضاء.
- تأثير مجال الجاذبية في انتقال الضوء.
- انحراف مسار الضوء عن مساره المعروف -الخط المستقيم- وذلك بفعل الجاذبية.

وضع العالم الدنماركي نيليز بوهر Bohr قواعد نظرية الكمات في عام ١٩١٣،

والتي تشرح الخطوط الطيفية Spectral Lines التي تنبعث من الذرات المشعة، افترض بوهر أن الذرة يمكن أن تتواجد فقط في سلسلة غير متواصلة من الحالات المستقرة Stationary States، وأن الإشعاعات التي تبثها أو تمتصها خلال العملية الانتقالية بين حالتين مستقرتين لها تردد Frequency يتفق مع قواعد نظرية الكمات لبلانك وأينشتين. وبالرغم من أن نظرية بوهر قد أحرزت نجاحًا بالنسبة للخطوط الطيفية المرصودة لذرات الهيدروجين وبعض الذرات الأخرى، لكنها لم تكن كاملة بدرجة كافية للإجابة على بعض التساؤلات الأخرى، خاصة فيما يتعلق بالقوانين التي تحكم احتمالات الانتقال من وإلى الحالات المستقرة. وفي عام ١٩١٧ نشر أينشتين ورقة عمل بحث فيها هذه المشكلة، مستنبطًا مشتقًا جديدًا لقانون بلانك في الإشعاعات. كانت أهم نقطة في ورقة عمل أينشتين هي أنه توصل إلى العملية المعروفة بالانبعاث الحثي Stimulated Emission، واستنتج خواصها، والتي استعملت بعد ذلك في عمليات الميزر أي «تضخيم الموجات الدقيقة بالانبعاث الإشعاعي المستحث».

Maser–Microwave Amplification By Stimulated Emission of Radiation

وكذلك في الليزر: تضخيم الضوء بانبعاث الإشعاع المنشط.

Laser–Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation. وفي عام ١٩٢٤ اشتق الفيزيائي الهندي بوز Bose قانون بلانك للإشعاع، آخذًا في اعتباره أن الإشعاع هو نوع من الغازات من الفوتونات Photons. توصل أينشتين إلى أن فكرة بوز يمكن أن تمتد لتشمل الغازات العادية التي تتكون من الذرات، مع فرض أن الذرات مثل الفوتونات لها موجات حثية وخواص الجزيئات. اكتملت نفس الفكرة بواسطة لويس دي بروجليه Broglie، مما أدى إلى قيام شرودنجر Schrodinger بتشكيل نظريته عن ميكانيكا الموجات Wave Mechanics، والتي استخدمت بعد ذلك في حل مشاكل الفيزياء النووية.

استخدم أينشتين النظرية الكمية لبلانك وفكرة بوز، واعتبر أن الضوء مكون من كمات من الطاقة وهي الفوتونات، وأن طاقة الفوتون وفقًا للنظرية الكمية تساوي حاصل ضرب تردد الضوء الساقط، في ثابت بلانك. وعندما يصطدم فوتون بسطح فلز فإنه يعطي طاقته كلها لأحد الإلكترونات الذي يستطيع عندئذ أن يقفز من حاجز الجهد السطحي ويصير حرًا، وتسمى الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من ذرات المادة بدالة الشغل الكهروضوئي Photoelectric Work Function، أما ما يتبقى من الطاقة التي يكون الإلكترون قد اكتسبها من الفوتون، فإنها تظهر على شكل طاقة حركة تساوي نصف حاصل ضرب كتلة الإلكترون في مربع سرعة الإلكترون التي ينطلق بها عند خروجه من السطح. استمر أينشتين بعد ذلك في أبحاثه ونظرياته محاولا دون أن ينجح في الوصول إلى نظرية عامة تحوي كل ما تتضمنه قوانين قوى الجاذبية والكهرومغناطيسية، أو كما أطلق عليها «نظرية المجال المتحد» Unified Field Theory.

قام أينشتين بتطبيق نظريته في النسبية العامة على علم الكونيات بعد نشرها في عام ١٩١٧، فوضع بذلك الأساس النظري لنشأة الكون ككل. وبدلاً من نظرية نيوتن عن الكون اللانهائي، بنى أينشتين نموذجًا للكون الذي له نهاية ولكن غير مقيد: Finite but Unbounded. كان نموذج أينشتين للكون نموذجًا استاتيكيًا، ولكن بعد أن اكتشف الفلكي إيدوين هابل Hubble في عام ١٩٢٩ أن الكون يتمدد، بداية من الانفجار العظيم Big-Bang في بداية الخلق، قام أينشتين بالتعاون مع الفلكي الهولندي دي سيتر De Sitter ببناء نموذجًا مبسطًا لتمدد الكون طبقًا لقوانين النظرية النسبية العامة.

وفي عام ١٩٣٨ وبعد انتقاله إلى الولايات المتحدة، وبالتعاون مع العالمين الأميركيين إنفيلد Infeld، وهوفمان Hoffmann، أثبتوا أن نظرية النسبية العامة بعكس نظرية نيوتن في الحركة يمكن من خلال قوانينها أن تفسر قوة مجال الجذب، وتحديد معادلات حركة الجسيمات الموجودة في هذا المجال.

الكهرباء

الكهرباء Electricity هي شكل من أشكال الطاقة، والتي تظهر بشكل طبيعي في الكون من خلال الروابط الكيميائية التي تربط الذرات معًا في الجزيء، وفي الذرات نفسها، ومن خلال البرق، وتظهر اصطناعيًا بواسطة المولدات الكهربية Electric Generators. وحتى في داخل الكائنات الحيَّة الحيوان والإنسان توجد نبضات كهربية تنتقل من خلية عصبية إلى أخرى، لنقل الإشارات إلى المخ وإلى الأجزاء المختلفة للكائن الحي. تعتمد ظاهرة الكهرباء على قوى الشحنات الكهربية Electric Charges والتي تحملها الإلكترونيات Electrons بشحناتها السالبة، والبروتونات Protons بشحناتها الموجبة. إن قوة الجذب بين الشحنات الموجبة والسالبة هي التي تسبب تماسك النواة والإليكترونات معًا لتتكون الذرات، ولكن تحت ظروف كثيرة معينة تتفكك بعض الإليكترونات من رباط الذرة وتتدفق خلال المعادن أو بعض المواد الأخرى لينتج التيار الكهربي.

بدأ الإنسان التعرف على ظاهرة الكهربية من خلال ملاحظاته للظواهر الطبيعية التي تمر عليه خلال رحلته الحياتية. لاحظ إنسان الحضارات القديمة أن بعض الأحجار السوداء (أكسيد الحديد المغناطيسي Magnetite) تجذب بعضها البعض، كما لاحظوا تجاذب القوى الكهربية في قطع الكهرمان Amber عند حكها بقطعة من الصوف، أيضًا انتبهوا إلى صور متنوعة من الإضاءة نابعة من ارتطام شظايا الصخور ومن احتراق أوراق الأشجار ومن القش المتطاير من الحريق. وحيث إن الحضارة الغربية الحديثة هي امتداد للحضارة الإغريقية، أو أنها صحوة من غفوة أو سبات استمر قرونًا طويلة قد تصل إلى خمسة عشر قرنًا، فإن كثير من مصطلحات علم الكهرباء نابع من اللغة الإغريقية القديمة، فكلمة إلكترون Electron تعني الكهرمان في اللغة الإغريقية، وكلمة المغناطيس في اللغة الإنجليزية Magnet مشتقة من اللغة الإغريقية والتي تعني الأحجار السوداء من المغنيسيا الموجودة في آسيا الصغرى.

كان الفيزيائي الفرنسي بيترو بريجرينو Peregrinus هو أول من عرفه التاريخ أنه وصف وشرح عمليًا استخدام المغناطيس وخواصه، والتجارب البسيطة التي يمكن إجراؤها عليه، وذلك في عام ١٢٦٩. وامتد الزمان لحوالي ثلاثمائة عام لم يُضَف لفهم ظاهرة المغناطيسية أي إضافة تذكر، إلا بعض التفسيرات الخيالية للقوى الخفية الموجودة داخل المغناطيس. وفي بدايات القرن السابع عشر نشر الفيزيائي الإنجليزي وليام جلبرت Gilbert بحثًا عن المغناطيس، مدشنا لعهد جديد تطورت فيه الأبحاث حتى توصل الإنسان إلى تطويع الكهرباء: توليدًا ونقلاً واستخدامًا. وكان هذا القرن هو بداية الثورة العلمية وسيطرة قوة العقل، وبداية التخلص من الخرافات والأساطير. رفض جلبرت فكرة التعاطف والكراهية للمغناطيس وتم استبدالها بفكرة التجاذب والتنافر لقوى فيزيائية. بالرغم من هذا المنظور الجديد إلا أنه كان مشوشًا، خالطًا بين قوى تجاذب المغناطيس وقوى الجاذبية الأرضية، وبالرغم من ذلك فقد أكد على ضرورة القيام بالدراسات والأبحاث لقياس هذه القوى الفيزيائية من أجل فهم ظاهرتي المغناطيسية والكهربية. ساهم جلبرت في عملية قياس القوى بتصميمه أول كشاف كهربي Electroscope، واستطاع بواسطته القيام بعمل قياسات بسيطة على الشحنات الكهربية. كان أول كشاف يتكون من إبرة معدنية خفيفة موضوعة أفقيًا على مرتكز Pivot (مشابه للبوصلة)، وباقتراب جسم مشحون كهربيًا من الإبرة، تسبب حدوث شرارة إلى الإبرة وتقوم بتحريكها. كان هذا الجهاز البدائي والبسيط هو أول جهاز لقياس قوة الشحنة من خلال قياس المسافة التي تتحرك فيها الإبرة.

استمر الاهتمام بخاصية المغناطيسية وفي مجال الكهرباء طوال القرن السابع عشر من خلال أعمال الفيزيائي والفلكي الهولندي كريستيان هوجينز Huygens، والعالم والفيلسوف الفرنسي رينيه ديكارت Descartes، وعدد آخر من العلماء في أوروبا. كان هوجينز رائدًا في عصره في الدراسات الخاصة بالقوة الطاردة المركزية Centrifugal Force، وحركة البندول، وفي نظريته الخاصة بانتقال الضوء في صورة موجات Waves. وحول عام ١٦٦٠ قام الفيزيائي الألماني أوتو فون جاركي Guericke صنع

أول آلة احتكاك كهربية، في صورة كرة من الكبريت تدار باليد وتعطي شرارة وتصدر فرقعة عند دورانها واحتكاكها بجسم آخر. قام جاركي أيضًا ببعض الأبحاث في مجال التنافر، والتوصيل الكهربي Conductivity. وفي نهاية هذا القرن أصبحت التجارب العلمية والمعملية هي طابع التفكير العقلي بدلاً من الخرافات والأساطير التي كانت سائدة في تفسير الظواهر الطبيعية.

بدأ عصر جديد في مجال الكهرباء في عشرينيات وثلاثينيات القرن الثامن عشر من خلال تجارب الإنجليزي ستيفين جراي Gray، والذي توصل إلى أن بعض المواد لها خاصية توصيل الشحنة الكهربية، والبعض الآخر يعتبر من العوازل. وفي عام ١٧٣٠ قاما جراي، وويلر Wheler بنقل الكهرباء المولدة من حك مادة زجاجية في خيط حريري بطول ٢٧٠ مترًا. جاءت القفزة التالية في مجال الكهرباء في عام ١٧٤٥ عندما تم تصنيع وعاء ليدن Leyden Jar لتجميع وتكثيف وتخزين الشحنات الكهربية. تكون هذا الجهاز من قنينة زجاجية مملوءة بالماء، يكون فيه الاتصال الكهربي الناتج من مولد شحنات من خلال مسمار مثبت في سداده فلينية، وتقوم القنينة الزجاجية مقام العازل والحافظ للشحنة، كما يمكن إحداث شرارة معاكسة عن طريق لمس المسمار لجسم موصل للكهرباء.

تطورت تدريجيًا فكرة الشحنة الكهربية حول منتصف القرن الثامن عشر، وأنه في الإمكان حفظها ونقلها من مكان لآخر مثل الموائع Fluids، وأن إجمالي الشحنة الكهربية في جسم معين يساوي مجموع الشحنات المنفصلة الموجودة في الجسم. في نفس الوقت لم تكن واضحة فكرة وجود شحنات موجبة وأخرى سالبة يمكن أن يعادلا بعضهما البعض إذا وجدا في نفس الجسم. وفي عام ١٧٤٤ كرس بنجامين فرانكلين Franklin مجهوداته لدراسة ظاهرة الكهربية وقام بإجراء الكثير من التجارب في هذا المجال. في عام ١٧٥٢ قام فرانكلين بإجراء تجربة عملية اشتهرت في ذلك الوقت وذلك بتطيير طائرة مصنوعة من الورق والمعدن الخفيف، في جو ملبد بالصواعق لتجميع الشحنات الكهربية وحفظها في وعاء ليدن. ظهر تطور هام في أبحاث فرانكلين في مجال

الكهرباء الاستاتيكية في النصف الثاني من القرن الثامن عشر، خاصة في موضوع القوى الكهربية. طبق فرانكلين قانون نيوتن الخاص بتناسب قوى الجاذبية عكسيًّا مع مربع المسافة بين الجسمين، على الأجسام المشحونة كهربيًّا. وفي عام ١٧٦٧ أوضح برستلي أنه إذا كان قانون القوى الكهربية المماثل لقانون الجاذبية لنيوتن صحيحًا، فإنه لن توجد قوى مشحونة في أي موضع من أي موصل كهربي له الشكل الأجوف Hollow Charged Conductor. وفي عام ١٧٧٢ أثبت هنري كافنديش بالتجربة صحة زعم بريستلي.

بدأت أبحاث جيمس ماكسويل Maxwell، وتشالز كولوم Coulomb في الظهور في الربع الأخير من القرن التاسع عشر، وقاما بالتطوير الرياضي للنظريات الخاصة بالقوى المغناطيسية والكهربية، بدأ كولوم العمل في دارسة الالتزام الالتوائي Torsion Balance في عام ١٧٨٤، متوصلاً إلى إمكانية قياس القوى الكهربية بين الأجسام المشحونة، على نحو صحيح ودقيق. قامت الصدفة بدور هام في اكتشاف الإيطالي لويجي جلفاني للخلية الكهروكيميائية Chemical Electrical Cell في عام ١٧٨٦. لاحظ جلفاني Galvani عند تشريحه لضفدعة انقباض أرجل الضفدعة الموضوعة بجوار جهاز اليكتروستاتيكي. ظن جلفاني في البداية أن هذه الظاهرة ناتجة من أرجل الضفدعة، ولكنه اكتشف بعد ذلك أن قطعتي المعدن اللتين استخدمتا في التشريح كونتا مع المحلول الملحي الذي وضعت فيه الضفدعة، خلية كهروكيميائية، فقد قام التفاعل الكيميائي بتوليد تيار كهربي تسبب في انقباض عضلات أرجل الضفدعة، أدت اكتشافات جلفاني إلى اختراع فولتا Volta للبطارية الكهروكيميائية في عام ١٨٠٠، لتوليد تيار كهربي ثابت Constant Current. كانت أول بطارية تتكون من قرص من الفضة وقرص آخر من الزنك، يفصل بينهما ورق كرتون مغمور في محلول ملحي، وتتوالى مكونات البطارية بوضع قرص آخر من الفضة ثم العازل ثم قرص آخر من الزنك، وهلم جرا. وفي عام ١٨٠٧ طور همفري ديفي Davy البطارية الكهروكيميائية مستخدمًا عنصري الصوديوم والبوتاسيوم.

في عام ١٨٢٠ قام أستاذ الفيزياء الدنماركي هانز أورستيد Orested في جامعة كوبنهاجن بعرض تجربة عن تأثير التيار الكهربي على إبرة مغناطيسية لبوصلة قريبة من سلك يسري فيه تيار كهربي، مكتشفًا بذلك العلاقة بين سريان الشحنة الكهربية وظاهرة المغناطيسية؛ محاولاً التعرف على القوى المؤثرة على إبرة البوصلة والمحركة لها، نتيجة لوجود تيار كهربي بالقرب منها، في عشرينيات القرن التاسع عشر، وبعد اكتشاف أورستيد قام أندريه أمبير باكتشاف الحقيقة الأساسية والأولية للتيار الكهربي وهي: أنه إذا سار تياران كهربيان لهما نفس الاتجاه، في سلكين متجاورين ومتوازيين فإنه سيحدث تجاذب بينهما، والعكس صحيح، فإذا كان اتجاها التيارين الكهربيين مختلفين فسوف يحدث تنافر . قام أمبير أيضًا بقياس القوى الكهربية للتيار الكهربي مستخدمًا ملفات متحركة، ثم استخدم المعادلات الرياضية؛ لتأكيد قياساته؛ مغيرًا من خواص وشكل سلك الملف. ساهمت أعمال أمبير في تشكيل فكرة المجال المغناطيسي Magnetic Field، والمجال الكهربي Electric Field ، أثبت أمبير أيضًا أن القوى الناتجة من قضيبين ممغنطين تتبع نفس قواعد القوى الناتجة من الملفات التي يسير فيها تيار كهربي، أدت أعمال أمبير إلى الوصول إلى حقيقة أن قضيب الحديد الممغنط يكافئ ملفًا يسري فيه تيار كهربي مستمر. وفي عام ١٨٢١ وكنتيجة لأعمال أمبير وعلماء آخرين تم تصنيع الجلفانوميتر Galvanometer للكشف عن التيار الكهربي وتعيين اتجاهه.

أدى اختراع الجالفانوميتر واستخدامه في القياس إلى مزيد من التقدم في مجال الكهرباء، من خلال أعمال الفيزيائي الألماني جورج أوم Ohm. أعقب أعمال جين فورييه Fourier عن التوصيل الحراري في الأجسام الصلبة، قيام أوم في عام ١٨٢٦ بتطبيق نفس أفكار فورييه على التوصيل الكهربي في المواد الصلبة. إذا كانت نظرية فورييه تبحث في معدل السريان الحراري في جسم معدني له طرفان مختلفان في درجة حرارتهما، متوصلاً إلى أن معدل السريان الحراري يعتمد على سرعة التغييرات في درجة الحرارة -التدرج في درجات الحرارة Temperature Gradient - على طول

الجسم، فإن أوم قد اقترح تطبيق فكر مشابه للتوصيل الكهربي، مع تبديل درجة الحرارة بالجهد الكهربي Electric Potential، وتبديل السريان الحراري بالتيار الكهربي. لقد توصل أوم إلى أن التيار الكهربي يعتمد على عملية نقل الشحنة الكهربية من طرف موصل صلد إلى الطرف الآخر بمعدل يتناسب مع التدرج في الجهد الكهربي. اهتم أوم أيضا بالأبحاث الخاصة بفرق الجهد Potential Difference، والمجال الكهربي Electric Field.

جاء فاراداي Faraday بعد اورستيد؛ لينغمس في إجراء التجارب الكهربية، ويخطو خطوة مميزة في اتجاه نظرية شاملة وكاملة للكهرباء، وتطوير فكرة المولدات والمحركات الكهربية. تتبع فارداي الأبحاث السابقة، بداية من القاعدة الأساسية لمجال القوى Forces Field الناتج من مرور تيار كهربي في سلك، والذي يقوم بتحريك المغناطيس، وأيضًا المغناطيس الثابت الذي يتسبب في حركة سلك مار فيه تيار كهربي، وأعقب ذلك في عام ١٨٢١ بناء جهاز لشرح نظريته في مجال القوى الكهربية والمغناطيسية. في عام ١٨٣١ توصل فاراداي إلى اكتشاف تيار الحث Induction Current، وصياغته لقانون الحث الكهرومغناطيسي. اكتشف فاراداي أن التغيير في المجال المغناطيسي يولد قوة كهربية تسبب سريان التيار في دائرة التوصيل المغلقة Closed Conducting Circuits، فإذا وصل ملف لجلفانوميتر فسوف يسبب أي تغيير في المجال المغناطيسي في الملف، مرور تيار خلال الجلفانوميتر.

إذا كانت ظاهرة الكهرباء قد اكتشفت بواسطة فاراداي وعلماء آخرين لهم مجهودات محدودة في التطور التدريجي لتشكيل الإطار المعرفي للكهرباء؛ فإن عالم آخر هو الفيزيائي الإسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل Maxwell هو الذي قام بتوحيد جميع الحقائق المعروفة عن الكهرباء في هيكل نظري مختصر، تشكلت نظرية ماكسويل في عام ١٨٦٤ والتي قامت على نتائج أبحاث كولوم، وأمبير وأوم، وكذلك على قانون فارداي للحث. جمع ماكسويل جميع الاكتشافات السابقة في مجال الكهرباء في نظرية رياضية على مستوى عالٍ من الدقة؛ مكونًا الإطار العام

لشرح ظاهرتي الكهربية والمغناطيسية في الطبيعة. تنبأت نظرية ماكسويل بإمكان انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء، فأدى ذلك إلى التعرف على الضوء كنوع من أنواع الموجات الكهرومغناطيسية. أمكن أيضًا -من خلال نظرية ماكسويل- استيعاب وتفهم وتحليل عمليات انتقال الضوء وانكساره، وتأثير تداخل الضوء، إلى آخره من الخواص المختلفة للضوء. يمكن تلخيص نظرية ماكسويل في أربع معادلات رئيسية وهي:

١- ينص القانون الأول على أن الفيض الكهربي الذي يقطع سطحًا مغلقًا يساوي الشحنة الكهربية داخله.

٢- وينص القانون الثاني على أن الفيض المغناطيسي الذي يقطع سطحًا مغلقًا يساوي صفرًا، ويدل ذلك على عدم وجود أقطاب مغناطيسية مفردة؛ ولكن يوجد فقط ثنائيات قطب مغناطيسي.

٣- أما القانون الثالث المستمد من قانون فاراداي للحث الكهربي، فينص على أن المجال الكهربي الحثي في سلك يساوي معدل قطع خطوط القوى المغناطيسية.

٤- القانون الرابع مستمد من قانون ماكسويل/أمبير، وينص على أن تيار الإزاحة هو معدل تغير الفيض الكهربي.



علم الكيمياء

الكيمياء Chemistry هي علم طبيعة المواد وتحويلاتها، فهي تتناول كل صيغ المادة والتغيرات التي تطرأ عليها من صيغة إلى أخرى. إن الكيمياء لا تهتم فقط بماهية ما يحدث في الطبيعة؛ ولكنها تهتم أيضًا بكيفية حدوث التغيرات.

عرف الإنسان التجارب الكيميائية في صورتها الأولية منذ حوالي خمسة آلاف عام مع ظهور الحضارات القديمة في مصر الحضارة الفرعونية وفي بلاد بين النهرين (حضارات سومر، وبابل، وآشور)، ومع التطور التكنولوجي الذي صاحب هذه الحضارات. بدأ إنسان الحضارات الأولى في ممارسة عمليات الطهو، والتعرف على عمليات التخمر Fermentation، وصنع الآنيات الفخارية والخزف، وحياكة جلود الحيوانات، واكتشاف الزجاج، والصباغة بالألوان الطبيعية، واكتشاف بعض النباتات أو المواد العضوية التي تساعد على شفاء المريض. خلال هذه العصور وعن طريق عمليات الصهر والخلط، اكتشف الإنسان أن مزج بعض المعادن المنصهرة يؤدي إلى تكوين معدن جديد له خواص متميزة، فقد أدى صهر النحاس مع القصدير إلى إنتاج البرونز الذي استخدم بكثافة في تلك العصور. أيضًا عرف إنسان الحضارات الأولى الحديد بأشكاله المختلفة، واستعمل الذهب والفضة في الزينة وفي التعاملات التجارية.

تميز فلاسفة الحضارة الإغريقية بأفكارهم الخاصة بطبيعة المواد، قد اعتقد طاليس في القرن السادس قبل الميلاد أن الماء هو جوهر الحياة، وأساس جميع الأشياء الموجودة في

الكون. حاول فلاسفة آخرون في أن الهواء والنار يشكلان جانبًا أساسيًا مع الماء في تشكيل مواد الكون. روج إمبدقليز في القرن الخامس قبل الميلاد نظريته التي تنص على أن عناصر الكون الأساسية لا تزيد على أربعة: التراب، والهواء، والماء، والنار. طور أرسطوطاليس هذه النظرية بافتراضه أن كل عنصر قد يتحول إلى العناصر الثلاثة الأخرى، وأصبحت هذه النظرية هي مفتاح فهم الكيمياء في صورتها القديمة، أو ما يسمى بالخيمياء Alchemy. انصبّ اهتمام العاملين في مجال الخيمياء من العرب والإغريق على: إما تحويل المعادن العادية إلى معادن ثمينة مثل الذهب والفضة، أو البحث عن العقاقير التي تطيل عمر الإنسان وتؤدي إلى الخلود. لم يصاحب أحد أي نجاح في تحقيق أي من الهدفين ولكن ساعد الأمل في إجراء الكثير من التجارب والأبحاث. نجح الإنسان في القرن الثاني عشر الميلادي في تركيز الكحول لاستخدامه في المشروبات الروحية، ثم بدأ العلماء في القرن السادس في تحضير الأدوية عن طريق العمليات الكيميائية الأولية مثل المزج والتسخين الحراري.

سيطرت الكيمياء الطبية على نشاط علماء الكيمياء في أوروبا في الفترة ما بين القرن السادس عشر والقرن الثامن عشر. اعتقد هؤلاء الكيميائيون أن الجسم البشري ما هو إلا مصنع لإجراء عمليات التخمير. جابه الفيزيائيون التقليديون نشاط الكيمياء العلاجية بنقد شديد، مدعين أن كثيرًا من العقاقير والمواد الكيميائية المستخدمة في العلاج تشكل مواد عالية السمية وخطرة على صحة الإنسان. بالرغم من أن الكيمياء العلاجية قد حققت بعض النجاح إلا أنها قد اختفت في القرن الثامن عشر بعد التطور الملموس في علم الكيمياء على يد علماء عصر العقل، والاكتشافات والاختراعات التي واكبت التطور في جميع أفرع العلوم في بدايات بزوغ الحضارة الأوروبية الجديدة. صاحب في نفس وقت التطور في الكيمياء تطور آخر في تكنولوجيا التعدين، وعلم المعادن Metallurgy الذي كان له أهمية كبرى في اكتشاف عدد جديد من المواد الكيميائية، كما أدى التطور في تحليل المعادن إلى ظهور الكيمياء التحليلية كفرع هام وأساسي في علم الكيمياء.

انتهى القرن السابع عشر بتحول العلماء نحو الاهتمام بطبيعة المواد بعد أن كان العلم منصبًّا في الفترة السابقة على العلوم التقليدية مثل الفلك وعلوم الميكانيكا الديناميكية والاستاتيكية Dynamic & Static Mechanics. بدأ الكيميائيون إجراء التجارب المتعلقة بالفحم كوقود والغازات الناتجة عن حرقه مثل غاز ثاني أكسيد الكربون وكذلك الاهتمام بالمواد الحمضية Acids والمواد القلوية Alkalies بالرغم من بدائية أجهزة الاختبار المستخدمة والتي أعاقت كفاءة التفاعل الكيميائي. طوّر الكيميائي الانجليزي روبرت بويل Boyle في العقد الأخير من القرن السابع عشر فكرة الذاتية الكيميائية Chemical Identity عن طريق استخدام الألوان النباتية الطبيعية كمادة حمضية أساسية في عمليات التفاعل الكيميائية. أجرى بويل أيضًا التجارب على الغازات خاصة في المضخات المفرغة Vacuum Pumps واستنتج علاقة التناسب العكسي بين ضغط وحجم الغازات عند ثبوت درجة الحرارة، كما توصل إلى أهمية الهواء في عملية الاحتراق، وبدونه لا تتم عملية احتراق المواد. كانت النظرية الخاصة بالاحتراق في ذلك الوقت قبل اكتشاف الأكسجين تسمى بنظرية اللاهوب Phlogiston Theory، والتي كانت تنص على وجود مادة كيميائية في المواد، تعتبر مقومًا أساسيًّا من مقومات الأجسام الملتهبة. كان الكيميائي الألماني بيخر Becher أول من نادى بهذه النظرية التي انتشرت في القرن السابع عشر، حتى تأكد علماء الكيمياء أن الهواء وما يحويه من أكسجين هو العامل الأساسي في عملية الاحتراق.

بدأ الاهتمام بكيمياء الغازات والهواء المضغوط Pneumatic Chemistry بعد منتصف القرن الثامن عشر خاصة بعد أن قام البيولوجي الإنجليزي ستيفان هولز Holes بتصنيع طست تجميع الغاز Pneumatic Trough . في هذه الفترة قام الكيميائي الإسكتلندي جوزيف بلاك Black بتحضير غاز ثاني أكسيد الكربون من مادة كربونات الكالسيوم أو ما يسمى بالحجر الكلسي (الطباشير Chalk)، وكذلك من كربونات الماغنسيوم، مستخدمًا التسخين الحراري والتفاعل الحمضي، قام الإنجليزي هنري كفينديش Cavendish بإجراء تجارب على كثافة وقابلية الذوبان Solubility لغاز ثاني أكسيد الكربون، كما قام في عام ١٧٦٦ بعزل غاز الهيدروجين وإجراء التجارب عليه، كعنصر

غازي خفيف، وأطلق عليه اسم الهواء الغير قابل للاشتعال Inflammable Air. اعتقد بعض كيميائيو ذلك العصر أن غاز الهيدروجين هو عنصر لهوبي Phlogiston. وفي عام ١٧٧٤ قام الإنجليزي جوزيف بريستلي Priestley بتحضير غاز الأكسجين معمليًّا وذلك بتسخين كلس الزئبق (أكسيد الزئبق Mercury Oxide). تم اكتشاف الأكسجين أيضًا في السويد بواسطة كارل شيله Scheele الذي أطلق عليه اسم هواء النار Fire-air، كما اكتشف شيلي أيضًا غاز الكلور. اكتشف بريستلي كذلك عددًا من الغازات مثل الأمونيا، وكلوريد الهيدروجين، وثالث أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكربون، كما أجرى مع بعض الكيميائيين الآخرين التجارب المعملية والدراسات والأبحاث على العديد من الغازات. شك الكيميائي الفرنسي أنطوني لافوزيه Lavoisier في صحة نظرية العنصر اللهوبي، فقام بإجراء تجارب عديدة في معامل بحثية مختلفة؛ لتفنيد صحة هذه النظرية. أثبت لافوزيه أنه عند تسخين القصدير Tin، والرصاص Lead فإن الناتج سيكتسب وزنًا، وأن الأكسجين سيختفي من الإناء. أيضًا سيعطي تسخين الكبريت Sulfur والفسفور Phosphorus نفس النتيجة السابقة.

أظهر لافوزيه في عام ١٧٧٥أن تسخين الزئبق في الهواء سينتج عنه تكوين الزئبق الكلسي الأحمر Red Calx of Mercury، مع انخفاض كمية الهواء الموجودة في إناء التجربة بمقدار الخمس، وأن ما تبقى من الهواء لا يستطيع إكمال عملية الاحتراق. عند تسخين الزئبق الأحمر الكلسي عند درجات حرارة مرتفعة، فإنه سينحل إلى زئبق وغاز مماثل للغاز الذي اكتشفه بريستلي الأكسجين وعليه توصل لافوزيه إلى أهمية هذا الغاز كمكون في الهواء الطبيعي والذي بإمكانه الاتحاد مع المعادن والمواد القابلة للاشتعال لتكوين المركَّبات Compounds. عندما وجد لافوزيه أن المركَّبات التي تتكون من اتحاد العناصر الغير معدنية Non-Metals مثل الكبريت والفسفور والكربون بهذا الغاز توصل -مثل بريستلي- أن هذا الغاز هو عنصر حمضي، وعليه أطلق لافوزيه كلمة أكسجين Oxygen على هذا الغاز المكتشف، مشتقًّا هذه الكلمة من كلمات يونانية تعني «مكون

الحامض» Acid former. اكتشف لافوزيه أيضًا أن غاز ثاني أكسيد الكربون يتكون خلال عملية التنفس في الإنسان والحيوان، وكذلك عند احتراق الشموع.

قام لافوزيه أيضًا بتحليل الماء بإمراره خلال أنبوبة ساخنة من الحديد، فتكونت طبقة من أكسيد الحديد Iron Oxide داخل الأنبوبة كنتيجة لتفاعل حديد الأنبوبة مع أكسيجين الماء، مع خروج غاز الهيدروجين من الأنبوبة. اقترح لافوزيه داخل تسمية هذا الغاز بالهيدروجين Hydrogen مشتقًا هذه الكلمة من كلمات يونانية بمعنى «مكون الماء» Water former. قام كفنديش بتفصيص الهواء ومزجه مع الأكسجين للحصول على غاز يمكن أن يتحد مع القلويات لتكوين النيترات Nitrate، وهو الملح المكافئ لأكسيد النيتريك Nitric Acid. ظهر النيتروجين Nitrogen، كغاز من خلال التجارب التي قام بها دانيال ريذرفورد عندما كان مساعدًا للكيميائي الأسكتلندي جوزيف بلاك. قدم لافوازييه معنى فكرة العنصر الكيميائي Chemical Element، باقتراحه الذي جاء فيه أنه يمكنك قبول المادة كعنصر كيميائي إذا لم يكن في الإمكان تحليلها إلى مواد أبسط. من خلال بعض عمليات التحليل الكيميائي سجل لافوازييه في كتاب له ٣٣ عنصرًا كيميائيًا، وكان من ضمنهم النار والضوء (أثبتت الأبحاث الحديثة صحية ٢٧ عنصرًا فقط من عناصر لافوازييه). استخدم لافوازييه أيضًا في أبحاثه قانون «حفظ المادة»، بمعنى أن المادة لا تفنى ولا تخلق من عدم، وأن كتلة المواد المتفاعلة يجب أن تسترد في ناتج التفاعل.

لم يكن للربع الأخير من القرن الثامن عشر أهمية فقط لدراسات الهواء المضغوط Pneumatic، ولكن أيضًا كان له أهمية في مجال علم المعادن Mineralogy والتي أدى التطور في المنهج التحليلي واكتشاف المزيد من العناصر الكيميائية. قام السويدي تروبين بيرجمان بإجراء بعض التجارب التحليلية على المعادن، فكان من نتيجة ذلك اكتشاف مع بعض الكيميائيين السويديين الآخرين عناصر النيكل والمنجنيز وعنصر المولبيدنيوم. وفي ألمانيا، قام مارتن هنريك كلابروث Klaproth بأبحاثه الهامة لتعريف معايير التحليل الكمي Quantitative Analysis استطاع كلابروث تأسيس قواعد التحليل بالقياس الوزني Gravimetric Analysis بنجاح من خلال استخدامه كواشف خالصة Pure Reagents،

وعينات دقيقة، وتجنب تلوث الأجهزة المستخدمة، وتدوين نتائج التجارب والأبحاث بدقة وأمانة. وكان من نتيجة أبحاثه اكتشاف عناصر اليورانيوم، والزركونيوم، والسيريوم، والتأكيد على اكتشاف الإنجليزي وليم جريجور Gregor لعنصر التيتانيوم. وتوالت عمليات اكتشاف عناصر أخرى بواسطة كيميائيين مختلفين، فاكتشف النمساوي فرانز مولر عنصر التلوريوم، واكتشف الإسباني جوزيه دي الهوار عنصر التنجستن، واكتشف الفنلندي جادولن عنصر اليوتريوم، واكتشف الإنجليزي سمسون تنانت عنصري الأوسميوم والإريديوم.

تركز الاهتمام في أبحاث الكيمياء في النصف الأول من القرن التاسع عشر على النظرية الذرية ومشاكل تحديد الوزن الذري Atomic Weight، بينما كان التقدم الرئيسي خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر ينصب على الكيمياء العضوية Organic Chemistry. كانت النظرية الذرية الأولى للكيميائي الإنجليزي جون دالتون Dalton هي أساس تفسير التفاعلات الكيميائية. لقد كان اهتمام الكيميائيين في بداية هذا القرن يدور حول دراسة القوى التي تحفظ تماسك عناصر المركَّبات Compounds. في عام ١٨٠٣ نشر الكيميائي الفرنسي كلود لويس برتوليه Berthollet مقالة عن قوى الانجذاب الكيميائي Chemical Affinity، أوضح فيها أن عملية تركيب المركَّبات الكيميائية هي عملية متغيرة وغير ثابتة وتعتمد على تركيز المواد المتفاعلة. اتخذ الكيميائي الفرنسي جوزيف بروست Proust موقفًا مخالفًا -بعد أن قام بأعمال تحليلية دقيقة- مبينًا أن المركَّبات الخالصة هي ثابتة في مكوناتها، وأن نتائج حسابات برتوليه تقوم على تفاعلات المحاليل والسبائك Alloys وأي شوائب أخرى، ولا تقوم على تفاعلات بين المواد الخالصة. واصطلح على تسمية النتائج التي توصل إليها بروست بقانون (النسب المحددة Definite Proportions). لاحظ الإنجليزي وليام هنري Henry أن ذوبان الغاز في الماء يتناسب مع ضغط الغاز. توصل جون دالتون إلى القانون الذي سمي باسمه والخاص بالضغوط الجزئية، والذي جاء فيه أن الضغط المبذول بواسطة كل غاز في مزيج من الغازات المختلفة، لا يعتمد على الضغط المبذول بواسطة الغازات الأخرى، وأن الضغط الكلي للمزيج يساوي مجموع

ضغوط الغازات منفردة أي مجموع ضغوط كل غاز إذا عزل في وعاء مختلف. شك دالتون في أن الذوبان هو عملية فيزيائية، قد يحتمل أن تكون لها علاقة في تركيب ووزن جسيمات الغازات. حاول دالتون في عام ١٨٠٣ تحديد الأوزان النسبية لذرات الغازات والعناصر والمركّبات. افترض دالتون في نظريته أن العناصر تتكون من جسيمات دقيقة وغير مرئية تسمى بالذرات، وأن جميع ذرات العنصر الواحد متشابهة في الكتلة وفي الخواص الأخرى، ولكنها تختلف من عنصر لآخر، وأن ذرات العناصر المختلفة تتحد معًا مكونة المركّبات.

توصل دالتون إلى أن الوزن النسبي لذرة الهيدروجين يمكن تحديده بالواحد الصحيح، وعليه يمكن تحديد الأوزان النسبية للذرات الأخرى. واجه علماء الكيمياء في القرن التاسع عشر مشكلة تحديد معادلة المركّبات أي تحديد الوزن الذري للمركّبات بدقة، وذلك لصعوبة توافر المعلومات الدقيقة عن النسب الذرية للمركبات Atomic Combining Ratio، وكذلك الأوزان المركبة. ظهر عامل آخر في عام ١٨٠٨ عندما أعلن الكيميائي الفرنسي جوزيف جاي لوزاك Gay-Lussac عن نظريته بأن الغازات تتفاعل تحت الظروف المماثلة للغازات بالنسبة لدرجة الحرارة والضغط، وذلك بنسب أحجامها. كمثال على ذلك، فإن حجمين من الهيدروجين يتفاعلان مع حجم واحد من الأكسجين ليكونوا الماء. ينص قانون جاي لوزاك لتركيب واتحاد الأحجام Law of Combining Volumes، على أن الأحجام المتساوية للغازات المختلفة يجب أن تحتوي على أعداد متساوية من الذرات. بالرغم من تقديم جاي لوزاك لأدلة واضحة وبينة لصحة نظريته فإن دالتون لم يقتنع بهذه النظرية.

في عام ١٨١١ اقترح الفيزيائي الإيطالي أميدو أفوجادرو Avogadro فرضيته التي جاء فيها: أن الأحجام المتساوية للغازات المختلفة تحت نفس ظروف درجات الحرارة والضغط تحتوي على نفس عدد الجزيئات، وأن جزيئات العناصر الغازية قد تحتوي على أكثر من ذرة واحدة. أكد أفوجادرو صحة قانون جاي لوزاك لاتحاد الأحجام، إذا طبق هذا القانون على الجزيئات بدلاً من الذرات، ودعم ذلك التأكيد بالتجربة المعملية، كما

فند النقد الموجه إلى نظرية جاي لوزاك في حالة احتواء جزيئات الغازات على ذرتين (مثل غازات الهيدروجين H_2، والأكسجين O_2، والنيتروجين N_2). وبالرغم من منطقية فروض أفوجادرو إلا أن فرضيته لم تلاقِ قبولاً من الكيميائيين في ذلك الوقت.

يعتبر الكيميائي السويدي جون جاكوب برزيليس Berzelius المؤسس والمنظم لعلم الكيمياء الحديث في القرن التاسع عشر. بدأ برزيليس أبحاثه بمزج وتركيب أوزان العناصر المختلفة، ثم اكتشف عنصري السيلينيوم والثوريوم، وقام بأبحاث رائدة في عمليات التحليل الكهربي Electrolysis. توصل برزيليس إلى «نظرية التحلل الكهربي الثنائي» والتي تنص على أن جميع المركّبات مكونة من مكونات لها شحنات سالبة وشحنات موجبة. في عام ١٨١٩ تم الإعلان عن التوصل إلى قانونين لهما علاقة بالأوزان الذرية: ينص القانون الأول (Law of Petit and Dulong) على أن حاصل ضرب الحرارة النوعية والأوزان الذرية للعناصر هو مقدار ثابت. لم يكن هذا القانون دقيق بدرجة كافية ولكن نبعت أهميته من استخدامه في الأغراض التشخيصية. اختص القانون الثاني بالمماثلة بين النظائر Isomorphism ، وقد توصل إليه الكيميائي الألماني ميتشرليش Mitscherlic بعد أن لاحظ تماثلاً بين بلورات الزرنيخات Arsenates ، وبلورات الفوسفات Phosphates.

في عام ١٩٢٦ أعلن الكيميائي الفرنسي أندريه دوماس Dumas أسلوب جديد في تحليل وتعيين الأوزان الذرية. توصل دوماس إلي: إذا تم مقارنة بخار العناصر مع كثافة نفس الحجم من غاز الهيدروجين، عند درجة حرارة واحدة، وعند نفس الضغط؛ فإن الوزن الجزيئي لبخار العنصر مقسومًا على مقدار ثابت مختص بهذا العنصر يعطي الوزن الذري. ظل الجدال قائمًا حول الأوزان الذرية حتى حلول عام ١٨٦٠، بانعقاد مؤتمر خاص بالكيمياء في مدينة كارلسرو الألمانية، حضره أعظم كيميائيي ذلك العصر. عرض الكيميائي الإيطالي كننديزارو Cannizzaro –الذي لم يتجاوز الرابعة والثلاثين من عمره– أطروحته الذي استخدم فيها فروض أفوجادرو وأمبير؛ لتطوير القواعد الكيميائية. ميز كننديزارو بين ذرة الهيدروجين –الذي اتخذها كوحدة قياس– وجزيئه الثنائي الذرة Di-Atomic Molecule. كان جزيء الكربون غير معروف في ذلك الحين؛ ولكنه توصل إلى

أن وزنه الذري في مركباته يساوي (١٢)، فاستخدم كننديزارو هذا الرقم لتحديد الصفة الكيميائية للمركّبات العضوية Organic Compounds.

بدأ زمن الكهرباء الكيميائية Electrochemistry في نهاية القرن الثامن عشر، عندما لاحظ الإيطالي لويجي جلفاني Galvani عند تشريح Dissect أرجل ضفدعة متوفاة حديثًا، ومتواجدة بجوار قطعة من المعدن، فإنها تنتفض Twitch، وعند اقتراب مولد إليكتروستاتيكي Static machine منها فإن المولد يبدأ في التشغيل. أدى المزيد من الأبحاث والدراسات إلى قيام جلفاني بتطوير نظرية خاصة بكهرباء الحيوانات. راجع هذه الأبحاث الفيزيائي الإيطالي الكسندرو فولتا Volta، والذي سجل في عام ١٨٠٠ نظريته، الخاصة بسريان التيار الكهربي بواسطة بطارية مكونة من زوجين من المعدن يعزل بينهما لباد أو ورق نشاف متشرب بمحلول ملحي، كما يمكن أن يتولد التيار الكهربي بعمل توصيلة لمتوالية من أزواج من المعدن مغمورة في أكواب أو أحواض زجاجية تحوي محلولاً ملحيًّا أو محلولاً حامضيًّا Acid solution. بعد عدة شهور من إعلان فولتا لنظريته، استخدم الإنجليزيان وليام نيكلسون، وأنطوني كارلسلي Carlisle التيار الكهربي لتحليل الماء إلى هيدروجين وأكسجين. قام كل من برزيليس في السويد، وهامفري دافي Davy في إنجلترا بإجراء الدراسات والأبحاث المكثفة على التأثير الكيميائي على التيار الكهربي، وتوصل كل منهما إلى قدرة الكهرباء على تحليل مواد كيميائية عديدة، كما لاحظا أن الهيدروجين والمعادن يظهران على القطب السالب للخلية الكهربية، بينما يظهر الأكسجين مع المواد الحمضية على القطب الموجب. أدت هذه الملاحظات إلى الفرضية بأن الانجذاب الكيميائي Chemical Affinities هو خاصية في الكهرباء. وأخيرًا طور برزيليس بإسهاب وإتقان النظرية الثنائية Dualistic Theory، مقترحًا أن ذرات العناصر لها الخاصية القطبية، وأن الذرات التي لها شحنات عكس شحنة القطب تتحد معه لتكوين المركّبات المستقرة. اعتبر برزيليس أن العديد من المركّبات -إلى حد كبير- تعتبر أقطابًا، فأدى ذلك إلى إجراء المزيد من التجارب للحصول على مركبات أعقد تركيبًا.

أدت أعمال ديفي في مجال الكهرباء الكيميائية إلى اكتشاف العديد من المعادن النشطة كيميائيًّا، مثل البوتاسيوم، والصوديوم، والباريوم، والسترونيوم، والكالسيوم، والمغنسيوم. في عام ١٨٣٣ قام مايكل فاراداي Faraday المساعد السابق لديفي بإسهام هام في هذا المجال باكتشافه قوانين الكهرباء الكيمائية. تحقق فاراداي من أن كمية العنصر المتحررة من خلال إمرار مقدار معين من التيار الكهربي تتناسب مع الوزن المكافئ Equivalent Weight للعنصر، كمثال على ذلك فإن الطاقة الكهربية التي تحرر جرام واحد من الهيدروجين، تستطيع تحرير ثمانية جرامات من الأكسجين، وكمية تساوي ٣٥,٥ جرامًا من عنصر الكلور، وهذه الكمية تعادل وزن مكافئ واحد من كل عنصر. قدم فاراداي مجموعة مصطلحات جديدة في مجال الكهرباء الكيميائية مثل: الإلكترود Electrode، الكاثود Cathode، الأيون/ ذرات ذات شحنة كهربية Ion، الآنود Anode، الأنيون/ أيون موجب الشحنة Anion، أيون سالب الشحنة Cation.

انتشرت الرموز الكيميائية في تلك الفترة، واعتبرت هذه الرموز اختصارًا للعناصر الكيميائية، أو اختصارًا للعمليات الكيميائية، فمثلاً وضع الرمز H للهيدروجين كأول حرف من الاسم، والرمز O، للأكسجين، والرمز S للسلفا، والرمز Cu للنحاس.

تأكد للعالم الإنجليزي بويل Boyle في القرن السابع عشر أن الأحماض هي مادة كيميائية تغير لون عصارة بعض الخضروات مثل العصائر التي لها لون بنفسجي، وأنه إذا تم مزج الأحماض بالقلويات فسوف يتكون الملح من ناتج المزيج. لم توجد أي محاولات جادة بعد بويل لاكتشاف نظرية عن الحمضية Acidity، حتى وجد الكيميائي لافوازيه Lavoisier أن الأكاسيد الغير معدنية مثل الفوسفور والكبريت والكربون تحتوي على الخواص الحمضية. اقترح لافوازيه أن الأكسجين هو الأساس الحمضي في هذه الأكاسيد، ولكن قوبل هذا الاقتراح باعتراض علماء الكيمياء المعاصرين لمدة عقدين من الزمان. في عام ١٨١٠ وجد ديفي أنه ليس في الإمكان فصل الأكسجين من عنصر الكلور باستخدام مواد كيميائية لها خاصية قوية لجذب الأكسجين. من جهة أخرى وجد عالما الكيمياء الفرنسيان جاي لوساك Lussac، ولويس تينار Thenard أن اليود Iodine،

وحامض البروسيك Prussic لا يحتويان على أي أكسجين. أطلق لوساك مصطلح الهيدروكبرتيك Hydrosulfuric والهيدروسيانيك Hydrocyanic لتمييزهما عن الأحماض الأكسجينية Oxyacids.

في عام ١٨١٥ اقترح ديفي أن الخاصية الحمضية لا تعتمد على المواد الأولية، ولكن على مركبات خاصة لمواد مختلفة. وبالرغم من أن الكيميائي الفرنسي لويس ديلونج Dulong أقر بأن الأحماض قد تكون مياهًا مع أكسيد لا فلزي Acid Anhudride، فإنه جادل أيضًا بأنها قد تكون هيدروجين مع مجموعة حمضية. تماشى الرأي الأخير مع النظرية الثنائية التي سادت في ذلك الوقت حتى جاء عام ١٨٣٠، عندما قام جراهام Graham، وليبيج Liebig بعمل دراسات على الأحماض المتعددة القاعدية Poly Basic Acids.

قام توماس جراهام في عام ١٨٣٠ بالتوصُّل إلى قانون انتشار الغازات Gaseous Diffusion والذي ينص على: يتناسب المعدَّل النسبي لانتشار الغازات تناسبًا عكسيًا مع الجذر التربيعي للكثافة. توصل جراهام إلى إمكان تمييز ثلاث سلاسل من أملاح الفوسفات المشتقة من ثلاثة من أحماض الفسفوريك Phosphoric Acids، والتي تختلف في عدد وحدات ذرات الماء التي تتحد مع وحدات عنصر الفسفور. كانت لنظرية ومعدَّلات جراهام الأثر المباشر لتوصل برزيليس لنظرية الثنائية.

بعد عدة أعوام، ومن خلال أفكار ديفي، توصل الكيميائي الألماني ليبيج إلى أن الأحماض تختلف في عدد ذرات الهيدروجين التي يمكن استبدالها Replaceable Hydrogen بفلز في جزيء الحامض. بعد مرور ثلاثة عقود من وضع الكيميائي الفرنسي لافوازييه للتعريف التفاعلي للعنصر، بذلت مجهودات ملموسة لدراسة العلاقة التبادلية بين العناصر. أثمرت هذه الفترة اكتشاف عناصر جديدة، فبين عام ١٨٠٧ الذي قام فيه ديفي بعزل العناصر القلوية، وعام ١٨٣٠ الذي اكتشف فيه الفيزيائي والكيميائي السويدي جابريل سفستروم Sefstrom العنصر الفلزي الفاناديوم Vanadium، ثم اكتشاف ستة عشر عنصرًا جديدًا.

أعلن الفيزيائي الإنجليزي وليم بروت عام ١٨١٥ أن الهيدروجين قد يكون أساس البناء الكيميائي، ومنه تشكلت جميع العناصر. أشار بروت للحقيقة العلمية بأن كثافة العناصر الغازية لا تخرج من كونها مضاعفات كثافة الهيدروجين، واقترح أن تكون الأوزان الذرية أعدادًا صحيحة. وجد الكيميائي الاسكتلندي توماس طومسون أن اقتراح بروت منطقي، وطالب بأن توضع الأوزان الذرية في قالب نموذجي Pattern. أما بيرزيليس فقد أفتى بأن العمل التحليلي الدقيق يعطي نتائج قد لا تتوافق مع الفروض، ومن ثم يترك جانبًا ويهجر، إلا إذا اهتم أحد العلماء بهذا العمل -بعد حين- وقرر إحياءه مرة أخرى.

في عام ١٨٢٩ قدَّم الكيميائي النمساوي جون فولنجانج دوبرينر Dobereiner فكرته عن «الشق الثلاثي التكافؤ» Triads، مقترحًا أن العناصر يجب أن تصنف في مجموعات من ثلاثة عناصر، وتشمل كل مجموعة عنصر له وزن ذري يساوي المتوسط الحسابي للوزنين الذريين للعنصرين الآخرين، وكمثال لذلك شكل مجموعة من الكالسيوم Calcium، والسترونتيوم Strontium، والباريوم Barium، ومجموعة أخرى من الكلور Chlorine والبروم Bromine واليود Iodine.

كانت فكرة دوبرينر مفيدة في خلق مجموعات من العناصر لها خواص متماثلة، ولكنها احتوت على الكثير من الاستثناءات، لذا لم تستمر طويلاً. تمت محاولات عديدة في الأعوام ما بين ١٨٣٠، ١٨٦٠ لتصنيف العناصر طبقًا لأوزانها الذرية وخواصها الكيميائية الأخرى، ولكن فشلت جميع هذه المحاولات بسبب عدم اليقين من تحديد الأوزان الذرية. تمَّ حل هذه المعضلة عندما قام الكيميائي كانيديزارو Cannizzaro بتطبيق فرضيات أفوجادرو، وأمبير على الأوزان الذرية. فرق كانيديزارو في أبحاثه بين ذرة الهيدروجين -التي تعتبر وحدة قياس- وجزيئه الثنائي الذرة. بالرغم من أن جزيء الكربون كان مجهولاً في ذلك الوقت، فإنه رأى أن وزنه الذري في مركباته يساوي ١٢. استخدم كانيديزارو هذا الرقم لتحديد المعادلات الذرية Atomic Formulas لجزيئات

المركّبات العضوية. نشر كانيديزارو أبحاثه في مؤتمر كارلسرو في ألمانيا عام ١٨٦٠ فحازت القبول، وأقرّ علماء الكيمياء صحتها وانتشرت بعد ذلك.

في عام ١٨٦٢ عرض الجيولوجي الفرنسي شانكورتوا Chancourtois نظامًا جديدًا لتمثيل العناصر بيانيًّا طبقًا لأوزانها الذرية حول سطح أسطوانة، بحيث يوجد ارتباط كيميائي بين العناصر التي على نفس الخط الرأسي للأسطوانة. ووجدت عيوب كثيرة عند تطبيق هذا النظام، لم يستطع مخترعها تفسير أسبابها، لذا فقد اختفت سريعًا ولم تؤثر على مسيرة مجال الكيمياء. تكرَّر نفس الشيء مع جون نيولاندز Newlands عام ١٨٦٥ عندما عرض القانون الثماني لترتيب العناصر طبقًا لتزايد أوزانها الذرية مستخدمًا سبعة أعمدة، مقترحًا أن العمودين الثامن والخامس عشر يماثلان العمود الثاني. وأخيرًا ظهر التصنيف العملي والفعَّال من خلال أعمال الروسي ديمتري إيفانوفتش مندلييف Mendeleyev، والألماني جوليوس لوثر ماير Mayer في عام ١٨٦٩. كان شكل تصنيف مندلييف جدوليًّا Tabular، أما شكل تصنيف ماير فأخذ شكل الرسم البياني Graphic. بيَّن مندلييف العناصر مرتبة في سلسلة من الصفوف Series of Rows تبعًا لزيادة وزنها الذري، مع تواجد تكرار دوري لخواصها. كان هذا الترتيب مماثلاً لفكرة نيولاندز Newlands، ولكن بخلاف نيولاندز أضاف مندلييف خواص تخيلية، تاركًا فراغًا للعناصر التي لم تكتشف بعد. باكتشاف عنصر الجاليوم Gallium في عام ١٨٧٥، تحقق تنبؤ مندلييف بخصوص العناصر الغير مكتشفة والتي أوجد لها مواضع في تبويبه وتصنيفه للعناصر. توصل ماير إلى علاقات دورية مشابهة عندما قام برسم منحنيات تبين التغيير في الخواص الفيزيائية للعناصر مع زيادة الوزن الذري تمثيلاً بيانيًّا، أظهر المنحنى تعاقبًا للذروات Peaks، والانخفاضات Depressions، حيث احتلَّت كل ذروة بعنصر معدني قلوي، بينما احتلت العناصر التي لها خواص مرتبطة مواضع متشابهة في التعاقب الموجي للمنحنى. أثبت النظام الدوري Periodic System أهميته في توحيد الفكر في مجال الكيمياء. وبالرغم من أن جداول مندلييف ماير خضعت لتعديلات خلال القرن التالي، إلا أن أساس فكرة النظام الدوري لم يتغير. كان للنظام التصنيفي القدرة على استيعاب

عناصر أخرى تكتشف دومًا، مثل العناصر النادرة التي اكتشفت بواسطة فون ستروت Strutt، ووليام رامزي Ramsy في عام ١٨٩٠. لقد اكتشف النظام الدوري على أساس تجريبي، وإن كان لم يتواجد في ذلك الوقت أي مفتاح لحل اللغز المحير: لماذا تُرتَّب العناصر على هذا المنوال؟... بانتهاء الربع الأول من القرن العشرين باكتشاف التركيب الهيكلي للذرة Atomic Structure، أمكن حل اللغز الذي حيَّر علماء الكيمياء لفترات طويلة.

لم يُعطِ العلماء الاهتمام الكافي لدراسة المواد المتعلقة بالكائنات الحيَّة في بدايات الدخول لعهد علم الكيمياء. شعر علماء ذلك العهد بالرهبة من إدخال القوى الحيوية الخاصة بالحياة والموت مملكة الفيزياء والكيمياء، من منطلق ديني حيث إن الأمور المتعلقة بالكائنات الحيَّة هي أمور غامضة ومبهمة ومن اختصاص الخالق وحده. لم يعزل العلماء قبل عام ١٨٠٠ إلا بضعة مركبات داخلة في تركيب النباتات أو الحيوانات مثل : حامض الأوكساليك Oxalic Acid، وحامض التفاح Malic Acid، والصمغ Mucic.

بعد عام ١٨٠٠ تم عزل وتعريف الكثير من المواد النابعة من أصل حيوي وكذلك المواد المتحولة واللاتي لم تتواجد في الكائنات الحيَّة. درس بروست Proust عصائر السكارين Saccharine Juices النباتية، واستخرج ثلاثة أنواع من السكريات وهي السكروز Sucrose، والجلوكوز Glucose، والفركتوز Fructose. وفي روسيا وجد جوتليب خرشوف Kirchhoff أنه عند حل-كيميائيًا-النشا مع حمض كبريتي، فإن في الإمكان عزل الجلوكوز من عصائر ناتج عملية الحل.

بعد عدة أعوام وجد كيميائي فرنسي أنه أيضًا يمكن إنتاج الجلوكوز عند حل أسمال الكتان البالية بواسطة الحمض الكبريتي. أظهرت أبحاث جاي لوساك، ولويس تينارد أن كل من السكريات والنشا والسيليلوز تحتوي على هيدروجين وأكسجين بنسبة ذرتين من الهيدروجين وذرة من الأكسجين، وهي نفس النسبة الموجودة في الماء.

وفي عام ١٨٤٤ أطلق كارل شميت Shmidt مصطلح الكربوهيدرات Carbohydrate على المواد التي تحوي السكارين.

استطاع الصيدلي الألماني فريدريك زيرتونر Sertuner في عام ١٨٠٥ عزل مواد بلورية من خام الأفيون. أطلق اسم المورفين Morphine على هذه المادة القلوية التي كانت تحتوي على النيتروجين. وفي خلال عدة سنوات من هذا التاريخ استطاع عالمان فرنسيان في علم العقاقير وهما بيير بليتيه، وجوزيف كافينتو، من عزل بلورات من مواد مشابهة أطلقا عليها «شبه قلويات» Alkaloids. استطاع العالمان الفرنسيان استخراج المادتين القلويتين السامتين: الإستركنين Strychnine ، والبروسين Brucine من بعض الحبوب، كما استخرجا مادة الكينين Quinine شديدة المرارة، ومادة الكينا Cinchonine من شجر الكينا Cinchona. احتوت شبه القلويات على عناصر لها تأثير فسيولوجي Physiological Effect على وظائف الأعضاء، لذا فقد قام المختصُّون بعلم العقاقير بالحصول على هذه المواد في شكل بلورات لاستخدامها في الأغراض الطبية والكيميائية.

قام الكيميائي الفرنسي مايكل شيفرول Chevreul في الأعوام ما بين ١٨١٠، ١٨٢٣ بإجراء دراسات هامة على الزيوت الدهنية Fatty Oils، أظهرت أن تحلل الدهون بواسطة القلويات يؤدي إلى التصبن Saponification، أي تكوين الصابون والجلسرين Glyserol. أدى تحمض الصابون إلى ترسيب أحماض الدهون مثل: الحامض الزبدي Butyric Acid، وحامض الأوليك Oleic Acid، وحامض الإستاريك Stearic Acid، وحامض الكبريك Capric Acid. كشفت أبحاث شيفرول أن الدهون هي عبارة عن خليط من مركبات الأحماض الدهنية والجلسرين، كَانَ من نتاج أبحاثه أيضًا وصف العديد من الأحماض الدهنية وتشكيل قواعد عامة لاختبار المواد العضوية. طوَّر شيفرول تقنيتين أساسيتين في البحث العلمي ودراسة المواد العضوية، وهما: استعمال مواد خاملة مذيبة للدهون Inert solvents لفصل المواد الكيميائية بدون تغيير تركيباتها، واستخدم البلورة المتعاقبة Successive crystallization للمواد، حتى الوصول إلى أقصى درجة حرارة للذوبان.

قام شيفرول أيضًا باستخلاص واختبار المركَّبات النقية للمنتجات الطبيعية، كما أدخل مبدأ استخدام نقطة الذوبان Melting Point كمعيار لنقاء الجوامد العضوية Organic Solids.

ارتبط انهيار فكرة أن الكيمياء العضوية يسيطر عليها قوى حيوية من خارج مجال قوانين الكيمياء العادية بتجربة قام بها الكيميائي الألماني فريدريك فوهلرWohler عام ١٨٢٨. ظن فوهلر أنه بإمكانه تحضير سيانات الأمونيوم Ammounium Cyanate من مركب الأمونيوم والسيانات (ملح حامض السيانيد)، وهما لا يعتبران من المواد العضوية. وبدلاً من تحضير المركب المتوقع -سيانات الأمونيوم- حصل فوهلر على اليوريا Urea، والذي كان حتى ذلك الوقت معروفًا كمركب يستخلص من بول الإنسان والحيوانات الثديية. ذهب بعض الكيميائيين إلى أن تركيب فوهلر لمادة اليوريا يُفنِّد المذهب الحيوي Vitalism، والذي أخذ يتقهقر حتى انتهى عام ١٨٤٤ عندما قام الكيميائي الألماني أدولف كولبي Kolbe بتركيب حامض الأسيتيك (حامض الخليك) Acetic acid من مركبات كيميائية Chemical Compounds يمكن تحضيرها من العناصر المركبة Component Elements. بدأ الكيميائي الفرنسي بيرتول Bertholet في عام ١٨٥٦ بإجراء أبحاث وتجارب، محاولاً من ثاني كبريتيد الكربون Carbon disulfide وكبريتيد الهيدروجين Hydrogen sulfide والتي يمكن تحضيرها من العناصر المركبة Component Elements. بدأ الكيميائي الفرنسي بيرتول Bertholet في عام ١٨٥٦ بإجراء أبحاث وتجارب، محاولاً من ثاني كبريتيد الكربون Carbon disulfide وكبريتيد الهيدروجين Hydrogen sulfide -والتي يمكن تحضيرها من العناصر- تحضير مركبات الميثان والإثيلين والنفتلين. وفي عام ١٨٦٢ قام بيرتول بتحضير غاز الأسيتلين Acetylene بإمرار الهيدروجين خلال قوس كهربي Electric Arc بأقطاب كربونية Carbon Electrode، وفي عام ١٨٦٦ أنتج البنزين بإمرار الأسيتلين خلال أنبوبة ساخنة. شرح بيرتول في كتاب له صدر عام ١٨٦٠، بأنه لا يوجد فرق بين الكيمياء العضوية واللاعضوية، فبالإمكان تركيب وتوليف نفس المركَّبات من المواد اللاعضوية، ومن المواد العضوية الموجودة في النباتات والحيوانات.

كان النصف الأول من القرن التاسع عشر مثمرًا للغاية في مجال أبحاث الكيمياء العضوية، فقد أمكن استخلاص مركبات جديدة للكربون من النباتات والحيوانات، ومن القار والغاز والفحم، ثم معالجة هذه المركبات للحصول على مشتقات لا توجد في الطبيعة. ظهرت صعوبات كثيرة خاصة بقوانين ومعادلات الكيمياء العضوية، وطرق تصنيفها، والعلاقات التي تربط فيما بينها، ولم يتم حل معظم هذه الصعوبات إلا بعد وضع الصيغ الجزيئية Molecular Formulas في صور دقيقة من خلال أبحاث كانيزارو. كان لتطوير التحليل الكمي Quantitative Analysis أهمية خاصة في الدارسات الخاصة بالمركبات العضوية. بدأت محاولات قياس كميات الكربون والهيدروجين والنتروجين في المركبات العضوية في عصر لافوازييه، ولكن لم تصادف هذه المحاولات نجاحًا يذكر، لأن الكيميائيين دأبوا على حرق العينات، محاولين قياس الغازات الناتجة (ثاني أكسيد الكربون، والماء، والنتروجين) عن طريق التحليل الحجمي. أخيرًا تمكن الألماني يوليوس ليبيج Liebig عام ١٨٣٠ من تطوير طريقة سديدة لقياس كميات الكربون والهيدروجين. قام ليبيج بحرق العينات في أنبوبة حرق زجاجية تحوي أكسيد الكربون كعامل مؤكسد Oxidizing Agent. تم تجميع الماء المتكون في أنبوبة وزن جافة، وتجميع ثاني أكسيد الكربون في أنبوبة تحتوي على هيدروكسيد البوتاسيوم Potassium Hydroxide، ثم يتم حساب أوزان الهيدروجين والكربون في العينة من أوزان الماء وثاني أكسيد الكربون الناتجين من حرق العينة. فصل ليبيج بين عملية تحديد النتروجين، وعملية تحديد الكربون/ الهيدروجين، فقد طور طريقة للنيتروجين والتي تستخدم عينة منفصلة خاصة به. اقترح دوماس Dumas إجراءات عمليات كيميائية أخرى محسنة لتحديد النتروجين، وذلك بحرق العينة في أنبوبة احتراق تحتوي على أكسيد النحاس، وفي جو Atmosphere من ثاني أكسيد الكربون. تقوم الخطوة التالية على تجميع غاز النتروجين في أنبوبة بها محلول من هيدروكسيد البوتاسيوم والذي يمتص الماء وثاني أكسيد الكربون اللذَيْن ينتجان من خلال عملية الحرق. وأخيرًا يقاس النتروجين حجميًّا، ويتم حساب وزنه للحصول على نسبته في العينة. لم يكن تعيين نسبة الأكسجين في عينة الاختبار يتم مباشرة ولكن من خلال طرح نسب العناصر الأخرى. وبالرغم من عدم دقة هذه الطريقة إلا أنه لم

تتواجد طرق أخرى يعتمد عليها لتحديد نسبة الأكسجين. كانت التجارب تجرى أيضًا لتعيين نسب الكبريت والهالوجين Halogen (مولد للملح مثل اليود والكلور والبروم والفلور) في المركبات العضوية. تم تطوير بعض طرق قياس النسب لمركبات عضوية معينة، وكانت أكثر الطرق شيوعًا بالرغم من خطورتها هي طريقة الكيميائي الألماني جورج لودفيج كاريوس في عام ١٨٦٤، والتي أكسد فيها العينة في فرن حراري مكون من أنبوبة محكومة الإغلاق وتحتوي على حامض النيتريك (ماء النار) المدخن Fuming Nitric Acid كانت نتيجة التجربة تحول الكبريت إلى ملح حامض الكبريتيك Sulphate والذي ترسب في صورة كبريتات الباريوم Barium Sulfate، وتحول الهيلوجين إلى هاليدات الفضة Silver Halides.

قدم ديماس قانون الإحلال Law Of Substitution في عام ١٨٣٤، موضحًا بأنه عند تعرض المركبات التي تحتوي على هيدروجين، للكلور أو البروم أو اليود، فإن مقابل كل ذرة تفقد من الهيدورجين تتكون ذرة هيلوجين في المركب. توصل الكيميائي الفرنسي أوجست لوريه Laurent والذي كان يزاول أبحاثه في معمل ديماس، إلى نفس النتيجة في عام ١٨٣٧، فأعلن عن نظرية جديدة تسمى "نظرية النواة" Nucleus Theory. تذهب هذه النظرية إلى أن خواص المركبات لا ترجع بالضرورة إلى نوع الذرات، ولكن إلى البناء الفيزيائي أو إلى نواة المركبات. جاء العقد الرابع من القرن التاسع عشر بكثير من الكيميائيين الذين شككوا في النظريات التي تخص الذرة، ففي عام ١٨٤٢ أعلن الكيميائي شارلز جير هارد أن الأوزان الذرية لعناصر الفضة والصوديوم والبوتاسيوم التي حددها بيرزيليوس غير صحيحة وأن الأرقام الصحيحة هي نصف أرقام بيرزيليوس. أن كانت فرضية جيرهارد في العناصر السابق ذكرها صحيحة، إلا أنه تمادى في تصنيف بعض العناصر الأخرى الصحيحة أوزانها الذرية. أدى التحليل المعملي للمركبات الغنية بالكربون مثل النفتالين $C_{10} H_8$ إلى إعلان ديماس بخطأ الوزن الذري للكربون والذي أعلنه بيرزيليوس بحوالي ٢٪. قام بعد ذلك الكيميائي البلجيكي جين ستاس Stas بالعمل مع ديماس للوصول إلى أرقام أكثر دقة للأوزان الذرية.

قاد العمل في مركبات النيتروجين العضوية (الأمينات Amines وهي مشتقات عضوية من النشادر) إلى الوصول إلى الأمونيا Ammonia (غاز النشادر). بينما كان الكيميائي الألماني أوجست هوفمان Hofmann يعمل كمساعد في معمل ليبيج قام بأبحاث مكثفة على الأينلين Aniline. قام هوفمان أيضًا في منتصف القرن التاسع عشر بتصنيع الأمينات الثنائية والثلاثية. اقترح هوفمان تصنيف أنواع الأمينات، أي أن الجزيئات التي لها واحد/اثنين/ثلاثة من ذرات الهيدروجين في جزيء الأمونيا NH_3 تستبدل بمجموعات عضوية بدون هدم الخواص الأساسية للمركبات. في إنجلترا قام الكسندر وليامسون Williamson لتحضير الإثير Ether (وهو مركب عضوي مخدر)، وتحقق من أن الإثير والكحوليات يمكن اعتبارها من أنواع المياه H_2O بحيث تستبدل ذرة من ذرات الهيدروجين الموجودة في الماء بمجموعة عضوية في الكحوليات، أما بالنسبة للإثير فتستبدل ذرتين من هيدروجين الماء بمجموعة عضوية.

في منتصف القرن التاسع عشر كان الكيميائي الإنجليزي ادوارد فرانكلاند Frankland يلتمس طريقة نحو فكرة "قدرة الاتحاد" Combining، أو ما يسمى بالتكافؤ Valence. وجد فرانكلاند أن تفاعل الزنك مع يوديد الإيثيل Ethyl يحرر البيوتان $C_4 H_{10}$ الذي اعتقد فرانكلاند أنه الإيثيل $C_2 H_5$. كان إيثيل الزنك $zn (C_2 H_5)$ الفعال هو الناتج الثانوي للتفاعل، والذي يعتبر من المركبات الفلزية العضوية Organometallic Compound. عندما قام فرانكلاند بوصف الخواص الكيميائية لهذه المركبات توصل إلى أن الذرات ومجاميع الذرات لها خاصية "قدرة الاتحاد"، والتي يمكن التعبير عنها برقم صحيح وصغير، كمثال على ذلك فإن الهيدروجين ومجموعة الإيثيل والفضة لهم رقم تكافؤي يساوي واحد صحيح. وحيث إن الأكسجين له رقم تكافؤي يساوي(٢)، فإن ذرة الأكسجين يجب أن تتفاعل مع ذرتين من مجاميع الإيثيل، أو الهيدروجين أو الفضة (العناصر الأحادية التكافؤ). وبالرغم من أن فكرة التكافؤ انتشرت بصور بطيئة، إلا أنها كانت لها فائدة كبيرة في الوصف والتنبؤ بالمعادلات الكيميائية.

تعرف الكيميائي الألماني فردريك أوجست كيكولي Kekule على المعنى الحقيقي للمكافئ عندما توصل في عام ١٨٥٨ إلى التكافؤ الرباعي Tetravalence لذرة الكربون، مبينًا أن ذرات الكربون يمكن أن تتحد مع بعضها البعض لتكوين سلاسل متتابعة من الاتحادات. ذهب الكيميائي الإسكتلندي ارشيبلد كوبير Couper إلى نفس الفكرة في نفس الوقت، ولكن كان لكيوكولي السبق في نشر أبحاثه، وأضاف إليها الكثير من الإضافات من أجل وضعها في صورة محسنة وقابلة للنشر. ساهمت أبحاث واكتشافات علماء الكيمياء في القرن التاسع عشر إلى تطور هذا العلم، خاصة في الكيمياء العضوية والتي تحتوي مركباتُها دائمًا على الكربون والهيدروجين، وكثيرًا ما تحتوي على إكسجين، وفي بعض الأحيان النتروجين وكبريتات الفسفور والهالوجين، ونادرا ما تحوي عناصر أخرى.

ظهرت فكرة البناء الهيكلي للجزيء Molecular Structur بعد عام ١٨٦٠، ثم تطورت في العقود التالية ولكن بدون اقتناع راسخ، لاعتقاد الكثير من الكميائيين باستحالة التوصل إلى ترتيب الذرات داخل الجزيء. كان كيوكولي والكيميائي الروسي الكسندر بتليروف Butlerov هما الرائدان في تطوير فكرة البناء الهيكلي للجزيء، بالرغم من توصل أبحاث بعض الكيميائيين الآخرين إلى معادلات البناء الهيكلي من قبل.

أمكن باستخدام معادلات البناء الهيكلي للجزيء تفسير بعض خواص أنواع معينة من المركبات مثل الأحماض، والكحوليات، والأثيريات، والأمينيات، وكذلك تفهم ظاهرة الأيسومرية Isomerism أي التشابه في التركيب والاختلاف في الخواص، والتي لم يتعرض إليها أحد من الكيميائيين منذ عشرينيات القرن التاسع عشر. وفي ذلك الوقت حدد فوهلر Wohler معادلة لحامض السيانيك Cyanic تماثل ما حدده ليبيج لمعادلة حامض الفلمنيك Fulminic Acid، بدون أن يتوصلا إلى تفسير وجود معادلة واحدة لحامضين مختلفين. اقترح بيرزيليوس أن تكون الذرات مرتبة بصورة مختلفة في الجزيئات. تأكد بيرزيليوس من حالات أخرى فيها مركبان يحويان خواص مختلفة، ولكن لهما نفس التركيب الذي ظهر في التحليل الكيميائي، وعليه اقترح بيرزيليوس اسم ظاهرة

الأيسومرية على هذه الحالات. ومن خلال فكرة البناء الهيكلي أصبح في الإمكان بيان مركبين لهما نفس معادلة الجزئي Molecular Formula، ولكن لهما بناء هيكليًا مختلفًا. واجه الكيميائيون مشكلة مركبات معينة مثل الإيثيلين C_2H_4، والإستيلين C_2H_2، والتي لا تحوي ذرات هيدروجين كافية للوفاء بقاعدة التكافؤ الرباعي لكل ذرة من ذرات الكربون. ذهب بعض الكيميائيين إلى شرح الهيكل البنائي للإيثلين بفرض أن واحدة من ذرات الكربون لها رقم تكافؤي يساوي اثنين. فسر كرم براون Brown هذه الحالة بأن كل ذرة كربون لها رباط ثنائي Double Bond، أما الألماني إيميل إرلينمير Erlenmeyer فقد توسع في تفسير فكرة براون بإدخال فكرة الرباط الثلاثي للأستيلين. أطلق على هذه المركبات: "مركبات مشبعة" وهي المركبات التي لها القدرة على إضافة عناصر الهيدروجين، والبروم Bromine، والبروميد Bromide، وكواشف Reagents أخرى. لم تلاحظ هذه الخواص في المركبات المشبعة Saturated Compounds مثل الإيثان C_2H_6 Ethane حيث تعمل هذه الكواشف بالإحلال.

ارتبطت مشكلة الهيكل البنائي بالمركبات ذات الصفة العطرية Aromatic Class والتي يمكن الحصول عليها من قار الفحم، وهو عبارة عن منتج ثانوي من غاز الاستصباح Illuminating-Gas. في عام ١٨٢٥ اكتشف فاراداي Faraday البنزين Benzene، بعد أن قام بتكثيف غاز ناتج من زيت الحوت، ثم تبعه مكتشفون آخرون باستخراجه من قار الفحم. وفي عام ١٨٦٠ تم إثبات أن جزيء البنزين له الصيغة الكيميائية C_6H_6 وأنه بهذه الصيغة يصبح له درجة عالية من عدم التشبع . لا يتفاعل البنزين -كمركب غير متشبع- مع الهالوجين Halogen، ولكن تحدث عملية إحلال للهالوجين بالهيدروجين بدلا من عملية الإضافة. اقترح كيوكولي في عام ١٨٦٥ أن البناء الهيكلي للبنزين قد يأخذ صورة الحلقة، أو الشكل المسدس Hexagon مع مجموعة CH عند كل زاوية. لم يحسب هذا البناء الهيكلي كرباعي التكافؤ لذرات الكربون إلا بعد التعرف على الرباط الثنائي المتعاقب، ومن ناحية أخرى لم يظهر للبنزين أي ميل لإضافة كواشف مثل المركبات الغير مشبعة. اقترح الكيميائي الألماني البرت لادنبرج Landenburg

الشكل المنشوري Prism لمركب البنزين للتخلص من فكرة الرباط الثنائي له. أما كيكولي فقد اقترح فكرة التذبذبية التي تنهي فكرة وجود رباط ثنائي ثابت.

ظهرت مشكلة أخرى لمفهوم البناء الهيكلي مرتبطة بخاصية النشاط الإبصاري لبعض المركبات. في عام ١٨١٣ لاحظ الفيزيائي الفرنسي بايوت Biot دوران ضوء مستقطب Polarized Light نابع من بلورات الكوارتز Quartz Crystals. لاحظ بايوت بعد ذلك أن بعض السوائل مثل زيت التربنتين Turpentine، وزيت الليمون، ومحاليل الكافور Camphor يدير Rotate الضوء المستقطب.

طور بعض العلماء جهازًا لقياس مدى إدارة الاستقطاب، مما ساعد الباحثين في تحليل النشاط البصري. لاحظ الكيميائي الفرنسي لويس باستير Pasteur في عام ١٨٤٨ أن ملح الأمنيوم لحامض الطرطير Tartaric Acid يتبلور في شكلين من البلورات تعطي صورًا مطابقة مثل المرآة. وجد باستير أنه عند تخزين هذه البلورات، فإن نوع منها يدير الضوء المستقطب إلى اليمين ونوع آخر يديره نحو اليسار. وبالرغم من أنه أرجع السبب إلى عدم تماثل الجزيئات، إلا أنه لم ينجز أي تقدم يذكر في استيعاب هذه الظاهرة.

في عام ١٨٧٤ تحقق كيميائيان شابان من فرنسا وهولندا من خلال جهود منفصلة من أن الخاصية الأيسومترية Isomerism (تشابه في التركيب واختلاف الخواص) توجد في المركبات التي تحوي على الأقل ذرة واحدة من الكربون تعرف بذرة كربون غير متماثلة Asymmetric Carbon Atom، وملحقة لأربع ذرات مختلفة (مجموعة ذرية). يمكن لهذه البدائل الأربعة أن ترتب نفسها حول ذرة الكربون الغير متماثلة من خلال نموذجين لهما خاصية الصور المطابقة Mirror Images. عرف الكيميائي الهولندي هوف Hoff النموذج الرباعي السطوح Tetrahidral Model لذرة الكربون، وبذلك كون خاصية الثلاثة أبعاد لصيغ البناء الهيكلي. كانت أعمال الكيميائي الألماني إيميل فيشر Fischer عام ١٨٩٠ هي أكثر الأعمال أهمية في مجال الكيمياء المجسمة Sterochemistry (دراسة توزيع الجزيئات في الفراغ).

كانت لألمانيا الريادة في الصباغة والعمليات الكيميائية المرتبطة بها. لقد توصل الكيميائيون الألمان المتخصصون في الكيمياء الحيوية إلى جوهر طبيعة مركبات الألوان Colored Compounds، وإلى أنواع المجموعات الذرية التي تعطي الألوان المختلفة وتركزه في المادة المراد تلوينها. قام كل من كارل جرايب Graebe، وكارل ليبرمان Liebermann بتصنيع صبغة اليزارين Alizarin، وهي صبغة حمراء مستخرجة من جذور نبات الفوة Madder ومعروفة منذ زمن طويل، وذلك في عام ١٨٦٨ بمعامل باير Baeyer. بعد سنوات قليلة قامت معامل باير بإنتاج هذه الصبغة وتسويقها تجاريًا. اتجه نشاط باير إلى صبغة طبيعية أخرى وهي "النيلة Indigo" وهي صبغة زرقاء ونجحت بعد ذلك بحوالي عشر سنوات في التعرف على هيكلها البنائي ثم تصنيعها تجاريًا. وبنهاية القرن التاسع عشر كانت معظم الصباغات الطبيعية قد تم إحلالها -في المعامل ثم في المصانع- بواسطة صبغات تصنيعية من مشتقات الأنيلين Aniline.

بالرغم من إجراء كثير من الأبحاث عن نمو النبات من خلال امتصاص الضوء والهواء، إلا أن الإنجليزي جوزيف بريستلي Priestley في القرن الثامن عشر كان أو من أشار إلى أن النباتات لها القدرة على تحسين الهواء الجوي الملوث نتيجة لحرق المواد أو نتيجة لتنفس البشر والحيوانات. توصل بريستلي إلى أن النبات يستخلص الفلوجستون Phlogiston (نظرية قديمة تذهب إلى وجود مادة في الهواء تسبب الاحتراق وتسمى الفلوجستون) من الهواء وبذلك يقوم بتنقيته. توصل عالم النبات السويسري جين زينبير Senebier بعد ذلك إلى أن النبات يخرج الأكسجين عند تعرضه للضوء. وضحت الصورة الكاملة لعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis على يد عالم النبات السويسري نيكولاس دي ساسور De Saussure في عام ١٨٠٤ والذي توصل إلى أن الأجزاء الخضراء من النبات عند تعرضها للضوء، تمتص ثاني أكسيد الكربون والماء لتكوين المواد اللازمة لنمو النبات، وتخرج الأكسجين كنتيجة لعملية التفاعل داخل خلايا النبات. قام عالمان فرنسيان بعد ذلك باستخلاص الكلوروفيل من النبات Chlorophyll في عام ١٨١٧، ولكن لم يتم التوصل إلى العمليات الكيميائية للتمثيل الضوئي إلا في القرن العشرين.

ظهرت خلال القرن التاسع عشر أبحاث مكثفة في طبيعة الطعام وفي الطاقة الموجودة فيه، وكذلك في احتياجات البشر والحيوانات من الأنواع المختلفة من الطعام. اقترح وليام بروت Prout في عام ١٨٣٤ أن الطعام يحتوي على ثلاثة أصناف مختلفة من المواد وهي: السكريات، والدهون، والزلاليات Albuminoids والذي اقترح الكيميائي الهولندي مولدر تسميته بالبروتين Protein، طور ليبيج الأبحاث السابقة، مشيرًا إلى أن الطعام له وظيفتان أساسيتان للاحتياجات الفيسيولوجية (الوظائف العضوية) وهما: إمداد الجسم بالطاقة، وتشكيل الأنسجة وإحلال التالف منها، فالكربوهيدرات والدهون تمد الجسم باحتياجاته من الطاقة، أما البروتين فهو ضروري لأنسجة الجسم.

في ثلاثينيات القرن التاسع عشر أرجع بعض من علماء الأحياء أن عملية التخمر الكحولي Alcoholic Fermentation راجعة إلى وجود خلايا خمرية Yeast Cells في الوسط السكري. أصر كل من ليبيج وبيرزيلوس على أن عملية التخمر ليست إلا عملية انحلال ميكانيكي، وأن وجود الخميرة هو نتيجة لعملية التخمر وليس السبب فيها. بعد عقدين من الزمان، دخل ليبيج في مجادلة مع العالم الفرنسي باستير الذي أكد بالتجربة أنه بدون وجود خلايا الخميرة الحية لا تحدث عملية التخمر.

رأى الألماني مورتس تراوبي Traube في عام ١٨٥٨ أن عملية التخمر هي ناتج محلول تخمري مثل الببسن Pepsin (خميرة المعدة الموجودة في العصير المعدي Gastric Juice)، أو في الدياستاز Diastase (خميرة نباتية ذوابة قادرة على تحويل النشا إلى سكر) الموجود في المولت Malt (شعير تم تنبيته بالنقع في الماء). لم يستطع أحد من هؤلاء العلماء التوصل إلى مادة التخمر حتى حلول عام ١٨٩٧ عندما أعد الباحث الألماني ادوارد بوشنر Buchner خلايا الخميرة، وقام بترشيحها في مصفاة دقيقة، متوصلاً إلى أن هذه الخلايا تستطيع تخمير السكر. أطلق بوشنر اسم خميرة الزيميز Zymase لهذه المادة التخميرية الفعّالة. اقترح الكيميائي الألماني ويلي كوهين Kuhne مصطلح الإنزيم Enzyme (خميرة كيميائية) للمادة البيلوجية القادرة على تحفيز Catalyzing عملية التفاعل البيولوجي.

كان الكيميائي الإيطالي اسكانيو سوبريرو Sobrero هو أول من اكتشف النيتروجلسرين Nitroglycerin -وهو زيت شديد الانفجار- عام ١٨٤٧. طرح العالمان الروسيان زينين، وبيتروشوفسكي فكرة تصنيع النيتروجلسرين على شكل ديناميت Dynamite، إلا أن الفضل لتصنيعه يرجع إلى المهندس والمخترع السويدي ألفريد نوبل Nobel. قام نوبل بأبحاثه في عام ١٨٥٩ وبدأ في تحقيق ثمار عمله بالحصول على أول انفجار في عام ١٨٦٢. قام نوبل بتصنيع النيتروجلسرين في مصنع صغير بالقرب من العاصمة السويدية ستكهولم، ولكن حدث انفجار في المصنع عام ١٨٦٤.

طور نوبل أبحاثه ليجعل النيتروجلسرين آمنًا نسبيًا حتى توصل إلى المفجر الجديد الذي أسماه ديناميت. وحول عام ١٨٧٥ مزج نوبل النيتروجلسرين مع قطن البارود Guncotton ليحصل على مادة مفجرة أقوى من الديناميت وهي الهيلام المتفجر Blasting Gelatin وفي عام ١٨٨٨ استطاع نوبل التوصل إلى مسحوق على شكل بودرة من مادة النيتروجلسرين لا تنتج أي دخان عند احتراقها. جمع نوبل ثروة هائلة من تصنيع الديناميت، وفي النهاية تيقظ ضميره ووهب ثروته لإحياء جائزة سميت باسمه، للعلماء الذين يساهمون بإنجازات تعود على البشرية بالخير بدلاً من القتل والدمار.

جرت المحاولات الأولى لربط الخواص الفيزيائية بعمليات التركيب (الكيميائي للمواد من خلال أبحاث الكيميائي الألماني هيرمان كوب Kopp في الفترة ما بين ١٨٢٠ و١٨٦٠، وفي منتصف القرن التاسع عشر حدث أيضًا تطور في أبحاث الديناميكا الحرارية Thermodynamic المتصلة بالعملية الكيميائية بواسطة العلماء: روبرت ماير Mayer، وهيرمان هولمهولتس Helmholtz، وجيمس جول Joule، وكيلفن Kelvin، وبولتزمان Boltzmann، وكلاوسيوس Clausis، وجيمس ماكسويل Maxwell، الذين انصب عملهم في الأساس على التغير الفيزيائي في الحرارة، مع الأخذ في الاعتبار التفاعلات الكيميائية المرتبطة به.

امتدت الدراسات والأبحاث بعد ذلك إلى حرارة الاشتعال بواسطة جوليوس

طومسون وعلماء آخرين، مثل الألماني أوجست هورست مان، والفيزيائي الأمريكي جشوا جيبس Gibbs الذي طبق قوانين الديناميكا الحرارية على اتزان المواد المتغيرة الغير متجانسة Heterogeneous Substances. توصل جيبس إلى قاعدة (تعادل الأطوار) Phase Rule، والتي تربط بين عدد المركبات الكيميائية في النظام الغير متجانس، وبين عدد الأطوار Phases، والخواص الأخرى التي تصف حالة النظام مثل درجة الحرارة والضغط. قام الكيميائي الألماني فرتس هابر Haber بتطبيق أبحاث الديناميكا الحرارية في العمليات الصناعية بإنتاج الأمونيا من النيتروجين والهيدروجين، والذي استخدم في العمليات العسكرية وفي تسميد الأراضي الزراعية.

واكب التطور في مجال الديناميكا الحرارية، تقدم في مجال آخر وهو النظرية الحركية للجزيئات Kinetic Molecular Theory، مبتدءًا بالغازات وتبعه أبحاث أخرى في السوائل والمواد الصلبة. قاد هذه الأبحاث علماء مثل كلاسيوس، وكلفن، وماكسويل. أمكن من خلال فروض النظرية الحركية الوصول إلى حقيقة الغازات التي تتكون من جزيئات في حركة دائمة، وهي أن طاقة حركة هذه الجزيئات ترتبط بدرجة حرارة الغاز، وأن عملية تصادم الجزيئات مع بعضها البعض هي عملية مرنة تمامًا Perfectly Elastic.من خلال الحقائق السابق ذكرها اشتقت قوانين عديدة عن انتشار الغازات مثل: قوانين بويل، وتشارلز، وجراهام Boyle's Low/ Charle's Low/ Graham's low وكذلك فروض أفوجاردو في هذا المضمار، هذا بالرغم من التشكك في جود حيود في أصحية هذه القوانين في حالة الضغوط المرتفعة جدًا، وفي حالة درجات الحرارة المنخفضة جدًا. كان للأبحاث السابقة أهمية ملموسة في عملية تسييل الغازات، فقد تم تسييل كل من غاز الأكسجين وغاز النيتروجين في فرنسا في عام ١٨٧٧، وأخيرًا تسييل غاز الهيليوم في عام ١٩٠٨.

تقدم إدراك فهم طبيعة المحاليل في ثمانينات القرن التاسع عشر كنتيجة لنظرية التأين Theory of Ionization. لم يتواجد أي تقدم ملموس في مجال التحليل الكهربي منذ عهد فاراداي، إلا ما توصل إليه الفيزيائي الألماني جوهان هيتورف Hittorf في عام ١٨٥٧، من أنه يوجد أيونات معينة تتحرك في السوائل بصورة أسرع من أيونات أخرى في حالة

وجود تيار كهربي يمر في السائل. في عام ١٨٥٧ بين فردريك كوهلروش Kohlrausch أن لكل أيون خاصية حركية، وفي عام ١٨٨٤ قدم السويدي سيفانتي ارهينيوس Arrhenius نظرية في التأين Ionization، والتي تذهب إلى أن الأملاح والأحماض والقواعد تتفكك وتنحلُّ إلى جسيمات دقيقة مشحونة أي أيونات، عندما تذاب في الماء، وأن هذه الجسيمات المشحونة هي الَّتي تحمل التيار الكهربي في المحلول. تفقد هذه الأيونات شحنتها عندما تلامس الإليكترون المشحون بشحنة معاكسة لشحنة الأيونات.

قبل حلول القرن العشرين، كان قد تم التوصل إلى أن عنصر اليورانيوم يبث تلقائيًّا بإشعاع يشابه أشعة إكس X-rays. ففي عام ١٨٩٦ لاحظ الفيزيائي الفرنسي أنطوني بيكيوريه Becqueral مصادفة هذه الظاهرة عند ملاحظته لنشاط المواد الفلورية Fluorescent Substances. أصبح من الواضح للعلماء أن الإشعاع مصاحب لكل أشكال وصور اليوارانيوم. وجدت الطالبة البولندية ماري كوري Curie والتي كانت تدرس في باريس، أن مركبات الثوريوم لها أيضًا خاصية النشاط الإشعاعي Radio-Activity. وقبل نهاية القرن التاسع عشر تمكنت هي وزوجها بيير كوري من استخلاص وعزل عنصرين آخرين لهم خاصية النشاط الإشعاعي، وهما البولونيوم Polonium، والراديوم Radium.

جذبت عناصر النشاط الإشعاعي انتباه الرواد العاملين في مجالي الفيزياء والكيمياء، وذلك حول القرن العشرين. قام العالم ريذرفورد Rutherford، ومعاونوه بأبحاث ودراسات مكثفة في هذا المجال. في عام ١٨٩٩، توصل الكثير من الباحثين ومنهم ريذرفورد إلى أن الإشعاعات غير متجانسة، ولكنها تحوي جزءًا من السهل امتصاصه وهو (جسيمات ألفا) Alpha-Particles، وجزءًا آخر له نفاذية ويمكن أن ينحرف بواسطة المجال المغناطيسي، ويسمى (جسيمات بيتا) Beta-Particles، والجزء الأخير هو (أشعة جاما) Gamma Rays، التي لها نفاذية عالية تشابه أشعة إكس X-rays. أظهرت جسيمات بيتا أنها مماثلة للإليكترونات ذات الشحنة السالبة، والمكتشفة بواسطة الفيزيائي الإنجليزي جوزيف طومسون Thomson عام ١٨٩٧ أثناء أبحاثه عن أنابيب التفريغ الغازي Gas-Discharge Tubes. وجد الهيليوم كغاز مصاحب للمواد الإشعاعية، لذا اعتقد الباحثون

أنه قد يوجد ارتباط بينه وبين جسيمات ألفا.

لاحظ الإنجليزي وليام رامسي Ramsay ومساعده فريدريك سودي Soddy أن الهيليوم يتحرر من كلوريد الراديوم بمعدل ثابت ومنتظم، وفي عام ١٨٩٠ أثبت كل من ريذرفورد، وتوماس رويدس Royds أن جسيمات ألفا هي عبارة عن أيونات الهيليوم بشحنة موجبة مزدوجة، في نفس الوقت تم اكتشاف عناصر إشعاعية جديدة ناتجة من انحلال اليورانيوم، والراديوم.

قام كل من ريذرفورد، وسودي بإنتاج مادة إشعاعية من الثوريوم أسماها(ثوريوم إكس) Thorium X التي حولت الثوريوم العادي إلى مادة غير إشعاعية، وبملاحظة المادة الجديدة -الثوريوم أكس- وجد أنها تفقد خاصية الإشعاع، بينما الثوريوم يعود من جديد كعنصر مشع. من خلال الأبحاث والتجارب، تم أيضًا خلال هذه الفترة استخلاص وعزل الغازات المشعة.

أظهرت الأبحاث الخاصة بمعدل الانحلال Decay Rates للمواد المشعة، أن هذه المواد تتبع سلوكًا معينًا، أطلق عليه مصطلح (عمر النصف للاضمحلال الإشعاعي) Half-Life حيث تضمحل العناصر المشعة بمعدل تفتت أسي كما في حالة امتصاص الأشعة السينية (أشعة أكس) أو أشعة جاما، ويعتبر عمر النصف مقياسًا لزمن الاضمحلال الإشعاعي للمادة، ويعرف بأنه الزمن اللازم لكي يتفتت فيه عدد النوى الأصلية.

كان للعناصر المستخلصة والمعزولة من المواد الإشعاعية المنحلة، هوية مماثلة لعناصر معروفة، كمثال على ذلك فإن الراديوم- دي Radium-D وهو عنصر إشعاعي ناتج من سلسلة انحلال الراديوم لا يمكن فصله عن الرصاص Lead بعد خلطه به. بدأ ريذرفورد والعلماء الآخرون الاعتقاد في أن العناصر التي لها نشاط إشعاعي تتحلل في العناصر الأخرى. قام الكيميائي فازانس Fajans بتحديد الوزن الذري للرصاص من خامات مشعة، وخامات عادية، وأعطت النتائج فروقًا ملموسة. أوحت هذه النتائج لفازانس

-بعكس ما ذهب إليه دالتون- بأن ذرات العنصر الواحد ليست كلها متشابهة.

أطلق سودي مصطلح (النظائر Isotopes) على الذرات التي تختلف في الكتلة فقط، وما عدا ذلك لها نفس خواص العنصر الواحد. قام عدد من العلماء منفصلين بتعريف قانون الإزاحة للنشاط الإشعاعي Radioactive Displacement Law، والذي يتنبأ بطبيعة الذرات الناتجة من عملية الانحلال الإشعاعي، وقام طومسون، وفرانسز استون باختراع مرسمة الطيف (سبكتروجراف Spectrograph)، وهو جهاز لفصل وتسجيل ذرات عنصر معين بكتلاتها المختلفة. من خلال نتائج الجهاز السابق، طبقت فكرة النظائر على ذرات العناصر المستقرة أيضًا.

أدى التقدم في مجال النشاط الإشعاعي إلى نبذ ما نادى إليه دالتون بأن الذرة جسيم صغير غير قابل للانقسام. ففي عام ١٩١١ كان هانز جيجر Geiger، وإرنست مارسيدن يعملان في معمل الأبحاث الخاص بالعالم ريذرفورد، فقاما بإطلاق (جسيمات ألفا) على طبقة رقيقة من الذهب، فلاحظا جسيمات متناثرة وغير معروفة من قبل. ومن ذلك استنتج ريذرفورد أنه يجب أن تكون الذرة متكونة من نواة موجبة الشحنة، محاطة بإليكترونات تتحرك حولها في مدار فلكي Orbital Movement، كما افترض أيضًا أن معظم وزن الذرة يتركز في النواة التي تحتل حجمًا صغيرًا جدًّا من الذرة، ويحتل الفراغ باقي حجمها. كان نموذج هيكل الذرة المقترح من ريذرفورد يتناقض مع النظرية التقليدية للديناميكا الكهربية، حيث إن الإلكترونات التي تدور حول النواة سوف تفقد طاقاتها الحركية ثم تنهار نحو النواة. تعامل الفيزيائي الدنماركي نيلز بوهر Bohr مع هذه المعضلة من منظور نظرية الكم Quantum Theory، وقام بتطوير نموذج لذرة الهيدروجين، والذي يمنع أي تغير في الطاقة في حالة تغيير الإليكترون من مستوى طاقة معين Energy Level لمستوى آخر. ومن خلال هذا المفهوم، استطاع بوهر ربط مسارات الإليكترونات في ذرة الهيدروجين مع خطوط البث والامتصاص لطيف الهيدروجين. امتدت نظرية بوهر إلى عناصر أخرى أكثر تعقيدًا من ذرة الهيدروجين، ولكن بإضافة بعض الفروض والتقريب. وفي عشرينات القرن العشرين، أخذت النماذج الذريَّة Atomic Models تأخذ تدريجيًّا

الشكل الرياضي، وذلك من خلال أبحاث ميكانيكا الموجات والتي قام بها الفيزيائي الفرنسي لويس بروجليه Broglie، والفيزيائي الألماني إيروين شرودنجر Schrodinger، وويرنر هايزنبرج Heisenberg.

في بداية أبحاث ريذرفورد، تعامل مع شحنة وكتلة النواة من منظور الشكل التجريبي. وفي عام ١٩١٣ أعلن هنري موسيلي Moseley أن العدد الذري للعنصر حتى الآن ليس إلا (رقم) مرتبط بوضعه في الجدول الدوري للعناصر Periodic Table، وعندما استخدم موسيلي عناصر مختلفة كهدف في أنبوبة أشعة أكس، وجد أن أطوال الموجات الرئيسية لأشعة إكس تتزايد بصورة منتظمة كلما بدل العنصر بآخر له وضع متقدم في الجدول الدوري للعناصر. وفي عام ١٩١٩ أطلق ريذرفورد (جسيمات ألفا) على النيتروجين، فحدث تحول عنصري Transmutation للنيتروجين إلى أكسجين، مع انبعاث البروتونات، في آن واحد. أدى اكتشاف البروتون نواة ذرة الهيدروجين العادية إلى معرفة الشحنة الموجبة للنواة. وفي عام ١٩٣٢ اكتشف الفيزيائي البريطاني جيمس تشادويك Chadwick، النيترون Neutron، الذي تقارب كتلته كتلة البروتون ولكن ليس له شحنه Zero Charge، وتعتبر كتلة النواة هي مجموع كتلتي البروتون والنيترون. كان تشادويك أيضًا هو أول من حدد الشحنة الكهربية للنواة بالقياس المطلق Absolute Measurement لجسيمات ألفا، انصبت أعمال تشادويك وريذرفورد المشتركة على مجال (التحول العنصري النووي الصناعي Artificial Nuclear Transmutation)، وذلك باستخدام (جسيمات ألفا) كمقذوف. كان تشيدويك أيضًا، أول من توصل إلى طيف طاقة (جسيمات بيتا) من المواد النشطة إشعاعيًّا، مما ساعد فولفجانج بولي Pauli في عام ١٩٣١ على التأكد من وجود النيترينو Neutrino (جسيم ذري متعادل الشحنة أي دون وجود الإليكترون).

طور علماء الكيمياء أفكارًا عامة عن الاتحاد الكيميائي، حتى قبل اكتشاف الجسيمات النووية، وشملت هذه الأفكار حركة الإليكترونات الخارجية، أي أقصى إليكترونات في ذرات الاتحاد. بدأ العمل في هذا المضمار عام ١٩١٦ بواسطة الأمريكيين

جلبرت لويس Lewis، وأرفينج لانجموير Langmuir، وكذلك الألماني والتر كوسل Kossel. استنتج هؤلاء العلماء استقرار المجال الخارجي Outermost Shell للإليكترونات عندما يحتوي على ثماني إليكترونات، فإذا احتوت ذرات المواد على إليكترون، أو اثنين، أو ثلاثة بحد أقصى، فسوف تتعرض هذه الذرات إلى حالة الاتجاه إلى ملء مجالها/غلافها الخارجي بعدد ثماني إليكترونات، وذلك في حالة تعرضها لشحنة موجبة. أما العناصر الغير معدنية فلها مجالات إليكترونية خارجية يمكن أن تملأ بعدد يتروح من إليكترون إلى ثلاثة، في حالة تعرضها لشحنة سالبة، وفي حالة تشكيل الأملاح فإن الإليكترونات تنتقل من ذرات العناصر المعدنية لذرات العناصر الغير معدنية، مع ظهور أيونات موجبة وسالبة الشحنة، في هذه الحالة ترتبط المركبات الأيونية Ionic Compounds معًا برباط أيوني Ionic Bonds. أما في حالة المركبات الغير معدنية، فإن هذه النظرية تشترط اشتراك أزواج إليكترونات Electron Pairs بين الذرات، بحيث تحتوي كل ذرة على ثماني إليكترونات في مجالها الخارجي، محدثة حالة من الاستقرار والثبات. أطلق على هذه المركّبات مصطلح المركّبات المشتركة Covalent Compounds، كما أطلق على أزواج الإلكترونات المشتركة مصطلح الرباط المشترك Covalent Bond.

اهتم علماء الكيمياء بالهرمونات Hormones والفيتامينات، خاصة خلال الثلاثين سنة الأولى من القرن العشرين، وبعدما ظهرت النظائر Isotopes ككواشف Tracers، حدث تطور سريع في فهم عمليات التخمُّر Fermentation، والأيض الوسيط Mediary Metabolism، (وهي عملية تفاعل حيوي متصلة ببناء البروتوبلازما ودثورها وبخاصة التغيرات الكيميائية في الخلايا الحيَّة والتي بها يتم إمداد الجسم بالطاقة الضرورية للعمليات والنشاطات الحيوية)، وعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis، وقاعدة الإنزيمات Enzymes، وفرع الجينات الكيمياحيوية Biochemical. وفي عام ١٩١٢، عرَّف هوبكنز Hopkins -والذي كان يعمل في جامعة كمبردج بإنجلترا- مفهوم: "عامل الطعام المساعد" وعليه قام الكيميائي فنك Funk -والذي كان يعمل في معهد لستر بإنجلترا-

بإطلاق مصطلح فيتامين Vitamine. لقد أدت الأبحاث في مجال الغذاء الحيواني إلى تقدم ملموس في فرع التغذية بصفة عامة، خاصة في الأعوام ما بين ١٩٢٠، ١٩٤٠.

ظهر مفهوم الهرمونات كمنظم كيميائي للعمليات الغذائية في أجسام الكائنات الحيَّة في عام ١٩٠٢ بواسطة اثنين من المختصين في علم الفسيولوجيا (علم الوظائف)، وهما الإنجليزيان أرنست ستارلنج Starling، ووليام بيلس Bayliss، واللذان اكتشفا السكريتين Secretin وهو هرمون معوي يحث البنكرياس والكبد على إفراز العصائر الخاصة بهما عند وصول الطعام إليهما من المعدة. أما الإنسولين، والذي يتم إفرازه في البنكرياس فهو هرمون مصاحب للكربوهيدرات، مثل السكر والنشا في عملية الأيض. وفي عام ١٩٢٢ قام الكنديان تشارلز بانتينج Banting، وتشارلز بست Best بتحضير أنسولين بنكرياسي مركز، ومن عملهما في هذا المجال توصَّلا إلى أن الأنسولين يلطف حدة المرض عند المريض بالبول السكري، ومن خلال تقدم عمليات المعالجة والتقنية لهرمون البنسلين أمكن استخلاص الأنسولين من بنكرياس البقر لاستخدامه -بعد معالجته- في حقن المرضى من البشر.

كان الكيميائيون الصينيون أول من صنعوا الأنسولين البقري في عام ١٩٦٤، ثم تبعهم الأمريكيون بتصنيع الأنسولين البشري عام ١٩٦٥. تم اكتشاف هرمونات أخرى في العقود الأولى من القرن العشرين مثل الأدرينالين Adrenaline، والدرقين Thyroxine (هرمون الغدة الدرقية)، وهرمونات الغدة النخامية Pituitary، وكذلك هرمون الجنس.

قام عالم الكيمياء الحيوية الألماني أوتوفاربورج Warburg بدراسة دور الأكسجين في عملية الأيض Metabolism، كما قام في عام ١٩٢٣ بتحسين وظيفة جهاز قياس التنفس Manometer لقياس الأكسجين الداخل في هذه العملية. اعتقد فاربورج في أنه بعد أن يحمل الهيموجلبين الأكسجين إلى الخلايا، فإن النظام الأنزيمي يستعيده مرة ثانية، وتعرف هذه العملية بالصبيغة أو السيتوكروم Cytochrome (عدة أنزيمات توجد في خلايا النبات والحيوان وتتألف من حديد وبروتين وغيرهما، وتلعب دورًا هامًّا في إحداث

الأكسدة البيولوجية)، كما أثبت أن السيتوكروم هو عبارة عن بروتين متّحد مع صبغة حمراء اللون Heme. يوجد الهيموجلبين Hemoglobin في خلايا الدم Blood Cells ويحتوي على نوعين من المكونات: الأول هو صبغة تحوي الحديد Heme، والمكون الآخر هو الجلوبين Globin وهو بروتين لا لون له ، وعندما ينقل الهيموجلبين الأكسجين إلى الأنسجة Tissues يتحول الدم إلى الأحمر الغامق الذي يميل قليلاً إلى اللون الأزرق. وعند رحلة عودة الهيموجلبين إلى القلب فإنه يحمل معه جزءًا صغيرًا من ثاني أكسيد الكربون الناتج من الخلايا كمنتج مستغنى عنه من عملية الأيض.

بالرغم من عزل الأحماض النووية Nucleic Acids لأول مرة عام ١٨٦٩ بواسطة عالم الكيمياء الحيوية فردريك ميزر، إلا أنه لم يبت في أهميته حتى عام ١٩٤٤ عندما قام ثلاثة من العلماء في جامعة روكفلر وهم: إيفري Avery ، وماكلويد Macleod، ومكارثي McCarthy، بالوصول إلى حقيقة نقل المعلومات الوراثية في البكتريا بواسطة حامض الدنا Deoxyribnucleic Acid- DNA. وفي عام ١٩٥٣ كان كلٌ من أخصائي الكيمياء الحيوية الإنجليزي فرانسيس كريك Crick، وزميله الأمريكي جيمس واطسون Watson يعملان في معامل جامعة كمبردج في إنجلترا، وتوصّلا إلى أن الدنا تتكون من جديلتين لهما الشكل اللولبي من الأحماض النووية، وأن قواعد الأحماض في الجدائل المقابلة/ العكسية، متصلة بروابط ضعيفة، وأن كل جديلة تعمل كقالب Template لإنتاج الجزيئات الجديدة للدنا، وبذلك تم فتح مجال جديد في علم الكيمياء والأحياء الوراثية.

وأخيرًا، وفي بدايات القرن الحادي والعشرين، وبعد دراسات وأبحاث وتجارب امتدت لقرون عديدة، أدت إلى تشعب علم الكيمياء وفروعه وتطبيقاتها لتشمل مجالات كثيرة نظرية وعملية، وتعددت أفرع علم الكيمياء لتشمل المواضيع الرئيسية التالية:

الكيمياء الفيزيائية Physical Chemistry

وتختص بالخواص الفيزيائية للمواد الكيميائية، والهيكل البنوي للذرات والجزيئات، وآلية Mechanism التفاعل الكيميائي.

الكيمياء العضوية Organic Chemistry

وتختص بدراسة مركبات الكربون المتحدة مع الهيدروجين، والمركَّبات الأخرى الغير معدنية، والتي توجد في الكائنات الحيَّة، ومع المعادن.

الكيمياء اللاعضوية Inorganic Chemistry

وتختص بالعناصر والمركَّبات الأخرى بخلاف العناصر والمركَّبات العضوية شاملة المعادن والعناصر المشعَّة، والأحماض التجارية والأملاح... وخلافه.

الكيمياء الحيوية Bio Chemistry

وتختص بالمركَّبات الموجودة بالكائنات الحيَّة، وكيفية تكوينها من عناصرها الأولية، وكيفية تحليلها بواسطة الخلايا الحيَّة، يشمل هذا الفرع الكيمياء الزراعية والكيمياء الطبية.

الكيمياء الهندسية Chemical Engineering

ويختص هذا الفرع بإنتاج المواد الكيميائية، وعمليات إنتاجها، وكذلك تصميم وإنشاء المصانع الخاصة بإنتاج الكيماويات، وإجراء التجارب والأبحاث الخاصة بالكيمياء الهندسية.

المادة Material

توجد المادة في ثلاث حالات طبيعية: الغازية، والسائلة، والصلبة. ليس للغاز حدود داخلية، فهو يتمدد ليملأ تمامًا أي وعاءٍ بغضِّ النظر عن حجم أو شكل الوعاء، أما السائل فله حدّ داخلي واحد وهو سطحه، فالسائل يملأ الوعاء تحت سطحه بغضِّ النظر عن شكل الوعاء، أما المادة الصلبة فهي متماسكة، ولا تحتاج إلى وعاء خارجي لاحتوائها.

تنقسم المادة بصفة عامة إلى مواد نقية ومواد مختلطة، ومن ثم تنقسم المواد النقية إلى مركبات Compounds وعناصر Elements. تعتبر العناصر أساس مكونات كل أنواع المادة، فالعنصر هو أبسط صورة للمادة، ولا يمكنها أن تتكون من مواد أبسط منها، كما أنها لا تتحطم إلى أنواع أبسط من المادة، توجد بعض العناصر طليقة في الطبيعة كما توجد عناصر أخرى في حالة اتحاد. يوجد حتى الآن مائة وخمسة عنصر، منها ٨٨ عنصرًا توجد في الطبيعة ، والعدد الباقي يمكن أن يخلق تصنيعيًّا. ويمكن للعناصر أن تتحد مع بعضها البعض، في حوالي أربعة ملايين من المركَّبات، ٩٥٪ منها تحوي عنصر الكربون وتعرف بالمركَّبات العضوية، والعناصر تتكون من ذرة أو مجموعة ذرات متحدة.

المركب هو مادة نقية تتكون من عناصر متحدة ببعضها البعض اتحادًا كيميائيًّا، وهي متجانسة تمامًا ولها تركيب محدَّد بغضِّ النظر عن المنبع أو الموقع أو الحجم أو الشكل.

يتحطم المركب إلى عناصر -فقط- ببعض أنواع التغيير الكيميائي، ولا يمكن عزل العناصر من المركَّبات بالطرق الطبيعية. تنتشر المركَّبات في الطبيعة بشكل أكبر كثيرًا من انتشار العناصر. ومن الأمثلة الشائعة للمركَّبات: الماء، الرمل، السكر، الملح، الكحول، البنزين، ... وعندما تتحد العناصر لتكون المركَّبات فإنها تفقد خواصها وتظهر مجموعة أخرى من الخواص المميزة للمركب المتكون، فمثلاً كلوريد الصوديوم ملح الطعام له خواص مختلفة عن عنصريه وهما: الصوديوم، والكلور الذي يعتبر غازًا سامًّا.

تتكون المواد المختلطة من مواد نقية ممتزجة مع بعضها البعض بوسائل طبيعية وليس بوسائل كيميائية، فمثلاً: التربة والصخر/ الفحم والزيت/الأنهار والمحيطات/... كلها مواد مختلطة أو مخاليط والتي تختلف عن المركَّبات النقية في النقاط التالية:

- يمكن فصل مكونات المخاليط بالطرق الطبيعية، فمثلاً يمكن فصل الملح من الفلفل إذا اختلطا معًا وذلك بإذابة الخليط في الماء.
- تحتفظ مكونات المخلوط بخواصه المميزة.

- بخلاف المركّبات النقية، فإن للمخاليط تراكيب مختلفة واسعة المدى، فمثلاً يمكن الحصول على عدد لا نهائي من محاليل مختلفة من الملح والماء، وذلك بتغيير كمية الملح المذابة في الماء.

خواص المادة Characteristics of Materials

يمكن التمييز بين أشكال المواد النقية بخواصها، حيث يوجد نوعان رئيسيان من الخواص، هما الخواص الطبيعية والخواص الكيميائية. تصف الخواص الطبيعية المادة النقية بصورتها التي هي عليها، أما الخواص الكيميائية فتصف قدرة المادة على التغيير إلى مادة نقية أخرى جديدة ومختلفة تمامًا.

لكل مادة نقية نوعان من الخواص الطبيعية: صفات مميزة وأخرى عارضة. تضم الصفات المميزة كل المظاهر التي تميز مادة نقية عن غيرها من المواد، ومن أهمها:

١- **الكثافة:** وهي وزن وحدة الحجم للمادة (جرام/سم^{3} في النظام المتري) يأخذ الماء في صورته العادية كمعيار حيث إن ١سم^{3} من الماء يزن جرامًا واحدًا، وعليه فإن كثافة الماء هي جرام واحد لكل سم^{3}.

٢- **الوزن النوعي:** هو النسبة بين وزن حجم معين من المادة ووزن نفس الحجم من الماء عند نفس الدرجة من الحرارة.

٣- **الصلابة:** وهي قدرة المادة على مقاومة الخدش، فالمادة تخدش أي مادة أخرى أقل منها صلابة.

٤- **الرائحة:** للعديد من المواد روائح مميزة، بعضها ذو رائحة ذكية، وأخرى نفاذة، وبعضها ذو رائحة غير مقبولة.

٥- **اللون:** تتميز كل مادة بلون معين معروف بها.

تصف الخواص الكيميائية قدرة المادة على تكوين مواد أخرى تحت ظروف معينة، أو وصف جميع خواصها الكيميائية والظروف التي تحدث من خلال تفاعلاتها مع المواد الأخرى.

التفاعلات الكيميائية

تتوقف معرفة المواد الناتجة من تفاعل وطبيعة هذه المركّبات على الإلمام بعلم الكيمياء، و تشمل التفاعلات الكيميائية الأنواع الرئيسية التالية :

١ـ الاتحاد الكيميائي Combination

يحدث هذا النوع من التفاعلات من خلال اتحاد مادتين أو أكثر بطريقة مباشرة لتكوين مركب واحد بصرف النظر عن كون المواد المتفاعلة إن كانت عناصر أو مركبات.

٢ـ الانحلال Decomposition

هو عكس الاتحاد الكيميائي فالانحلال هو عملية تكسير لجزيء معقد إلى مادتين أو أكثر، وقد تكون المواد الناتجة عناصر أو مركبات.

٣ـ الاستبدال Displacement

يحدث الاستبدال عندما يتفاعل عنصرٌ ما مع مركب بحيث يتّحد العنصر مع أحد مكونات المركب ويتبع ذلك انفراد الجزء الباقي من المركب.

٤ـ التبادل المزدوج Metathesis

يشمل هذا النوع من التفاعلات عملية تبادل العناصر أو المجموعات في مركبين.

تعتبر المعادلات الكيميائية التي تمثل الأنواع المختلفة من التفاعلات الكيميائية، معادلات جزئية Molecular Equations، إذ تحتوي هذه المعادلات على الرموز الجزيئية للمواد المتفاعلة والناتجة من التفاعل. تعتبر التفاعلات الكيميائية في معظم الحالات تفاعلات أيونية Ionic Equations وخاصة عندما يضاف محلول مادة أخرى، وفي هذه الحالة تكتب المعادلات في الصورة الأيونية.

يعني التكافؤ ميل العناصر لتكوين مركبات من خلال تغير تركيبها الإلكتروني، ويستخدم مصطلح التكافؤ للتعبير عن شيئين مختلفين:

الأول: هو ميكانيكا التكافؤ بمعنى الطريقة التي يتحول بها العنصر إلى التوزيع الإليكتروني المستقر.

والثاني: هو رقم التكافؤ (الأكسدة) بمعنى عدد إليكترونات العنصر المشاركة في تكوين المركب، وبما أن العناصر الحرة غير متحدة بغيرها من العناصر، فإن العنصر في هذه الحالة له رقم تكافؤ يساوي صِفرًا. يوجد نوعين من التكافؤ: وهما التكافؤ الكهربي، والتكافؤ التساهمي.

تعرف صيغة المركب بأنها عبارة عن النسبة العددية لذرات كل عنصر الموجودة في هذا المركب. وفي المركَّبات ذات التكافؤ الكهربي توضح الصيغة أبسط نسبة بين الوحدات الداخلة في تركيب هذا المركب، وذلك في أعداد صحيحة. أما في المركَّبات التساهمية فإن الصيغة توضح العدد الحقيقي لذرات كل عنصر الموجودة في جزيء هذا المركب، تستخدم رموز العناصر في كتابة صيغ المركَّبات كما يكتب عدد الذرات بعد رمز العنصر، فمثلاً صيغة الماء الَّذِي يتكون من ذرتين من الهيدروجين وذرة من الأكسجين يكتب على النحو الآتي: H_2O. لا توضح الصيغة أي دلالة على نوع التكافؤ: كهربي أو تساهمي، فهذه الخاصية يمكن الوصول إليها فقط من دراسة خواص المركب.

إليكترونيات الحالة الصلبة Solid State Electronics

تنقسم المواد من حيث توصيلها الكهربي إلى ثلاثة أقسام: مواد جيدة التوصيل الكهربي Conductors ومواد شبه موصلة Semiconductors، ومواد عازلة Insulators. تعتمد خاصية التوصيل الكهربي على وجود إلكترونات حرة غير مرتبطة بذرات المادة، ويمكن لهذه الإلكترونات أن تتجول بين الذرات في أي اتجاه، مثل جزيئات الغاز، فهي

تملأ الحيز الذي تشغله وتتحرك حركة عشوائية في فراغ الشبكية البلورية. وعلى ذلك فمحصلة إزاحة أي إلكترون نتيجة لهذه الحركة خلال أي فترة زمنية تساوي صفرًا، بمعنى عدم حدوث أي إزاحة للشحنات داخل المادة في حالتها الطبيعية. أما إذا وضعت المادة في مجال كهربي فتكتسب الإليكترونات كمية حركة في المجال المؤثر، وتتحرك حركة إزاحية في اتجاه المجال -بالإضافة إلى الحركة العشوائية- وتتسبب إزاحة الشحنة داخل المادة في مرور تيار كهربي بها، ولهذا تسمى بموصل جيد. وتتوقف درجة التوصيل الكهربي للمادة على درجة حرية الإليكترونات للحركة، وتعرف الحركية Mobility بأنها السرعة الإزاحية لكل وحدة مجال كهربي.

إذا تم إضافة قدر ضئيل جدًّا من الشوائب قد يصل إلى جزء من الألف مليون إلى المادة، يتكون نوعان من أشباه الموصلات العارضة يطلق عليهما موجب النوع P-type، وسالب النوع n-type. من أمثلة النوع الأول: الجرمانيوم أو السيليكون إذا أضيفت له شوائب ثلاثية التكافؤ مثل الأنديوم، ومن أمثلة النوع الثاني: الجرمانيوم أو السيليكون مضاف إليه شوائب خماسية التكافؤ مثل الأنتيمون.

تتغير خواصُّ بعض المواد عند درجات الحرارة المنخفضة، كأن يكون لها مثلاً خاصية التوصيل الفائقة Superconductivity، وتختفي مقاومتها الكهربية تمامًا. اُكتشفت ظاهرة التوصيل الفائق عام ١٩١١ بواسطة العالم الهولندي أونز Onnes، عندما كان يقيس مقاومة الزئبق المتجمد عند درجات حرارة بالقرب من الصفر المطلق، فقد وجد أنَّ المقاومة تنخفض بدرجة كبيرة عند درجة ٤,١٥ كلفن، وتصبح للمادة عند درجات الحرارة الأقل من هذه الدرجة الحرجة T_C موصلية فائقة.



علم الأحياء

الأحياء أو البيولوجي هو علم دراسة الحياة بكل مظاهرها وتعقيداتها. وحيث إنَّه لم تتواجد الحياة أبدًا خارج منظومة الخلية، لذلك فإن عمل علماء الأحياء ينصب على الدارسات والبحوث الخاصة بالعالم الخلوي Cellular، وفي مجال الكائنات الحيَّة. وكلمة بيولوجي Biology يونانية الأصل، وهي مكونة من مقطعين: الأول Bios بمعنى الحياة، والثاني Logos بمعنى علم.

إذا كانت الأسئلة الكلاسيكية العامة في مجال العلم تتلخص في:

ماذا؟... وكيف؟... ولماذا؟... فبالنسبة إلى السؤال(ماذا)، فإنَّ علم الأحياء يواجهه مشكلات وتعقيدات لا حدَّ لها لتنوع الكائنات الحيَّة، من ملايين من الأنواع المختلفة للنباتات، والآلاف من مختلف الحيوانات التي اكتشفت أو التي لم تكتشف بعد، والتي اندثرت أو ما زالت تحيا وتتوالد على سطح كوكب الأرض. أما بالنسبة إلى (كيف)، فإن الشغل الشاغل لعلم الأحياء يتجه نحو حل المعضلات داخل الإطار العام التالي:

كيف تتكامل الخلايا من داخل منظومة الكائن الحي؟
كيف تتوافق الخلية مع عمل المنظومة؟
كيف تتفاعل الخلية مع العناصر الأخرى للمنظومة؟

كيف يستمر الكائن الحي في البقاء ، وكيف ولماذا يتغير؟

كيف تتواجد الكائنات الحيَّة كتنظيم جماعي، وكيف يتواجد التنظيم الجماعي ككيان واحد، أو كمنظومة متكاملة؟

إذا خضنا في السؤال الأخير (لماذا؟)، فسوف نغوص في مستنقع الفلسفة Philosophy وما فيها من غيبيات أي فلسفة ما وراء الطبيعة Metaphysics.

قد يتطرق الفكر إلى مجال العقيدة والدين والعلوم اللاهوتية، والقوى الخفية أو القوى الخالقة التي أوجدت الكون بما فيه من اختلاف وتنوع ونشوء واندثار. قد يذهب فكر آخر إلى النظريات والمذاهب الفلسفية عن حقيقة الكون، وهل هو ظاهري -كما هو ظاهر لنا نحن البشر- أو هو مجرد أفكار وصور ذهنية تتكون في العقل فقط، وهل الأحداث حتمية من علل وأسباب، أو لحرية فعل الكائن الحي الأثر الغالب في تسيير الأحداث؟

إنَّ الأحياء علم شديد التباين لوجود اختلاف بالغ بين أنواع الكائنات الحيَّة بدءًا من الفيروسات والبكتيريا إلى الفطر، ومن نباتات وحيوانات بأنواعها وأشكالها المختلفة. يختص هذا العلم أيضًا بدراسة تكوين الكائنات الحيَّة على اختلاف مستوياتها بدءًا من الجزيئات العضوية الكبيرة، فالجينات، إلى الخلايا، فالأنسجة فالأعضاء، وأخيرًا الكائن الحي كاملاً. يتطرق هذا العلم أيضًا إلى تنوع طرق انتظام الأفراد في مجموعات أو مجتمعات، ثم في أنواع، وفصائل، ومجموعات أحيائية Biota. يوجد لكل قطاع مجال دراسة تخصصي مثل: علم الخلية Cytology، علم الأنسجة Histology، وعلم التشريح Anatomy، والبيئة، والتصنيف، والأجنَّة، والسلوك، وغيرها من العلوم الأخرى.

يدخل علم الأحياء ضمن مجالات علمية عديدة مثل الطب والزراعة، وتربية الحيوانات، والكيمياء، وعلم الاجتماع، والدراسات الخاصة بالبيئة.

لم يبزغ علم الأحياء كعلم حديث إلا في أواسط القرن التاسع عشر، إلا أن جذوره تمتد إلى عصر الإغريق القدماء، حيث نشأ منذ أكثر من ألفي عام على شكل مدارس علمية تميزت منها مدرستان ما زالتا معروفتين إلى اليوم: هما المدرسة الطبية ومدرسة التاريخ الطبيعي، فأما المدرسة الطبية فيمثلها أبقراط Hippocrates وتلاميذه، وقد بلغت ذروة ازدهارها في العالم القديم ما بين عامي ١٣٠، ٢٠٠م بأعمال جالينوس Galen، التي أدت إلى نشأة التشريح وعلم وظائف الأعضاء. وأما مدرسة التاريخ الطبيعي فقد بلغت ذروة ازدهارها على يدي أرسطو Aristotles كما تشهد بذلك أعماله الممثلة في كتابه "تاريخ الحيوانات" ومن خلال هذه المدرسة نشأت علوم البيئة والتصنيف والبيولوجيا المقارنة والتطورية. استمرَّ الفصل بين الطب والتاريخ الطبيعي طوال العصور الوسطى وعصر النهضة مع ارتباطهما بعلم النبات؛ لأنه على الرغم من كونه فرعًا من التاريخ الطبيعي فقد كان منصبًّا على الأعشاب ذات الخصائص الطبية. إن معظم قادة علم النبات من سيزالبينو في بداية القرن السادس عشر حتَّى لينيوس في نهاية القرن الثامن عشر كانوا أطباء. وبمرور الوقت استقلَّ علم النبات ثم انضمَّ إلى علم الحيوان ليتكون منهما علم التاريخ الطبيعي الذي انسلخ منه علم الحفريات، وانضم إلى علم طبقات الأرض (الجيولوجيا)، وظل التشريح ووظائف الأعضاء هما المكونات البيولوجية للمدرسة الطبية.

لم يكن للثورة العلمية بدءًا من القرن السابع عشر إلا أثر ضئيل على علم البيولوجيا، الذي لم تتأثر مسيرته بصورة فعالة إلا في القرنين السابع عشر والثامن عشر، عندما اكتشف التباين في أنواع النبات والحيوان، لقد كانت الثروة الأحيائية التي جلبها المستكشفون الأفراد، ومنهم جامعو النباتات من تلاميذ لينيوس نواة متاحف التاريخ الطبيعي، كما حفزت الدارسين إلى التركيز على علم التصنيف، ذلك الفرع الذي كان يشكل الجانب الأكبر من علم البيولوجيا في عهد لينيوس إلى جانب علمي التشريح ووظائف الأعضاء كأساس للمدرسة الطبية.

كانت معظم أنشطة المشتغلين بعلوم الحياة تتسم بالوصفية ولكن لم يغلب على

تلك الفترة من تاريخ البيولوجيا العقم الفكري، فلقد تمت فيها إنجازات في مجال التاريخ الطبيعي على يدي بفن، ووظائف الأعضاء على يد الفرنسي فرانسوا بيشه Bichat مُنشئ علم الأنسجة وأول من توصَّل إلى أن أعضاء الجسم تتكون من أنسجة، والمورفولوجيا النموذجية على يد الفيلسوف والباحث البيولوجي الألماني جوهان جوته Goethe في نهاية القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين، والفلسفة الطبيعية على يد بلومنباخ. كانت هذه الإنجازات حجر الأساس لما تلاها من تطور فكري في مجال علم البيولوجيا، ولكن -من منطلق التباين والتفرد في عالم الأحياء- ظلَّت الحاجة لإرساء قاعدة راسخة لعلم البيولوجيا أكثر ضرورة منها في العلوم الفيزيائية، ولقد وضعت هذه القاعدة ليس فقط من خلال علم التصنيف بل أيضًا من خلال علم الحفريات والتشريح المقارن والجغرافيا الحيوية وما يرتبط بها من علوم بيولوجية.

استُخدم لفظ بيولوجيا كمصطلح لعلوم الحياة عام ١٨٠٠ في مؤلفات لامارك وتريفيرانس Treviranus وبرداخ Burdach، غير أن هذا المصطلح كان مؤشرًا على بداية الاهتمام بالكائنات الحيَّة بدرجة أكبر من التي كانت محصورة في دائرة الدراسات التصنيفية الوصفية. وضعت أُسس علم البيولوجيا -كما نعرفه اليوم- فيما بين ١٨٢٨ و١٨٦٦ متمثلة في أعمال فون بير Baer في علم الأجنَّة، وشوان مع شليدن في علم الخلية ومولر وليبيج وهلمهولتز ودوبوا وبرنارد في علم وظائف الأعضاء، ووالاس وداروين في فرع تطور النظم الحياتية والجغرافيا الحيوية، ومندل في الوراثة. وفي عام ١٨٥٩ نشر دارون كتابه (أصل الأنواع) الذي كان تتويجًا لإنجازات بضعة وثلاثين عامًا مهَّدت الطريق أمام ميلاد معظم الفروع البيولوجية المستحدثة.

بعد أن تكشَّفت أوجه التشابه بين النبات والحيوان من حيث تركيب خلاياهما ووظائفهما بشكل عام، وكذلك من حيث طريقة توارث الصفات المميزة، أصبح التقسيم القديم لعلم البيولوجيا إلى فرعين: النبات والحيوان، غير ذي معنى ، وتأكد ذلك بعد اكتشاف ما بين النبات والحيوان من تشابه يصل إلى درجة التوحد، فيها يتم

داخل جسم كل منهما من عمليات الكيمياء الحيوية Biochemical على المستوى الجزيئي. وبعد اكتشاف الفروق المميزة عن الفطريات وعن الكائنات بدائية النوى في مملكتي النبات والحيوان، وتزايد وضوح أهمية تصنيف الكائنات طبقًا لمفاهيم بيولوجية جديدة، تحل محل القاعدة القديمة وهي نوع الكائن، أصبحت الفروق البيولوجية هي أساس التصنيف، وبعد التطور الملحوظ في مجال بيولوجيا الخلية والبيولوجيا الجزئية، نادى بعض العلماء بالتخلص كُلِّيَّةً من كلمتي نبات وحيوان، ولكن بقيت الحاجة إلى الفصل بين هذين الفرعين قائمة في مجالات معينة، مثل علم الشكل Morphology وعلم التصنيف Taxonomy، كما يوجد بعض الخلاف بين النبات والحيوان من حيث التطور والأداء الوظيفي، وبعد ذلك يبقى السلوك مختصًّا بالحيوان وحده. بُذلت محاولات عديدة لعمل هيكل تصنيفي شامل لكل ما يمكن أن يندرج تحت كلمة بيولوجيا من ظواهر حياتية، ولكن حتى الآن لم يتحقق النجاح الكامل؛ نظرًا لِلْكَمِّ الهائل من القضايا المختلفة التي يتضمنها هذا العلم المتشعب، بل إن بعض التصنيفات المقترحة قد أدَّت إلى اختلاط المفاهيم. لقد ذهب البعض إلى تقسيم علم البيولوجيا إلى: وصفي، ووظيفي، وتجريبي، وهو تقسيم لا يقتصر خطؤه على إغفال مجال رئيسي مثل البيولوجيا التطورية، بل يتجاوز ذلك إلى تجاهل أن الوصف أمر لا مَفَرَّ منه في كل هذه المجالات، وأن التجربة هي الأداة الرئيسية، ليس فقط لجمع البيانات اللازمة والمعلومات المطلوبة في المجال الوظيفي بل أيضًا لاختبار صحة الاحتمالات المطروحة في كل المجالات المعنية. تجلَّت سلبية هذا التقسيم في شكل مفاهيم خاطئة، واعتُبرت كل الدراسات الخاصة بإحيائية الكائنات علومًا وصفية بحتة لمجرد أنها ليس لها أساس تجريبي.

في عام ١٩٥٥ نظَّم مجلس علم البيولوجيا ندوة خاصة لتحليل المفاهيم البيولوجية الشائعة بغرض الوصول إلى أفضل هيكل يعبر عن طبيعة بنية هذا العلم، وكانت المعايير التي اقترحها المشاركون في الندوة من شأنها أن تؤدي إلى تقسيمه إلى مجالات شديدة الاختلاف، ولكن كان هناك تحبيذ واسع باقتراح مينكس Mainx

لتقسيم البيولوجيا إلى ثلاثة مجالات رئيسية هي: الشكل المورفولوجي Morphology والذي يختص بالشكل وبنية Structure الكائنات الحيَّة وأجزائها دون التعرض إلى وظائفها، وكذلك مجال الأجنَّة Embryology، ووظائف الأعضاء Physiology، بالإضافة إلى القليل من الموضوعات التي تشكل الاعتبارات المورفولوجية والتي تقسم تصاعديًّا إلى فروع مثل: علم الخلية Cytology، وعلم الأنسجة Histology، وعلم أداء الأعضاء الكاملة Whole-Organ Physiology ، كما حاز قبولاً واسعًا أيضًا اقتراح فايس Weiss الذي قسم العلم -تصاعديًّا أيضًا ولكن من منظور آخر- إلى: بيولوجيا جزيئية Molecular Biology، وبيولوجيا خلوية Cellular Biology، وبيولوجيا وراثية Genetic Biology، وبيولوجيا تطورية Developmental Biology وبيولوجيا الجماعات والبيئة Group and Environmental Biology، وهذا هو التقسيم الذي اتخذته مؤسسة العلوم القومية أساسًا لكتابة عنوان مصادرها المعلوماتية. جمع فايس في هذا التصنيف فروعًا شتى مثل: التصنيف والسلوك والتطور والبيئة في وحدة واحدة بينما احتجز خمس فئات متساوية الأهمية لما يخص الكائن الحي كفرد. في عام ١٩٧٠ شَكّلت الأكاديمية القومية لجنة لدارسة علوم الحياة، قسمت هذه العلوم إلى اثنتي عشرة فئة هي البيولوجيا الجزيئية (مع الكيمياء الحيوية)، وعلم الجينات، وبيولوجيا الخلية، والفسيولوجيا، والبيولوجيا التطورية، والمورفولوجيا، والبيولوجيا التطورية، والتصنيف، وعلم البيئة، والبيولوجيا السلوكية، وعلم التغذية، وعلم آليات المرض Disease Mechanisms وأخيرًا علم العقاقير Pharmacology. على الرغم مما أدخله هذا التقسيم على ما سبقه من تحسينات إلا أنه لم يخلُ من السلبيات، ومنها: اعتبار التصنيف والبيولوجيا التطورية فرعًا واحدًا.

بدأ علم الأحياء -وما زال- بالاهتمام بالتصنيف، سعيًا وراء الاكتشاف، ووصف وترتيب مجموعات الأنواع المختلفة للنباتات والحيوانات الموجودة على كوكب الأرض، آملاً في استكمال العلم والمعرفة لأي كائنات حية أخرى قد تتواجد في الكون الفسيح.

إنَّ الهدف الأساسي للتصنيف هو تطوير نظم للتبويب؛ بغرض تركيز ضوء البحث والدراسة على العلاقات المختلفة بين الكائنات الحيَّة بعضها البعض، أو العلاقات بين الكائنات الحيَّة والبيئة، وكذلك تعقب أسلاف Ancestries الكائنات الحيَّة بجميع أشكالها وأنواعها. يظل نقص المعرفة عن أشكال وجود الكائنات الحيَّة والجهل بأسلاف الكثير من هذه الكائنات من أهم الصعوبات التي تواجه تطوير نظم التبويب والتصنيف. لقد احتوت صخور الحفريات Fossils القديمة على أشكال كثيرة من الكائنات الحيَّة المنقرضة مثل اللافقريات البحرية Brachiopods، والكائنات الثلاثية الفصوص Trilobites، وأشكال أخرى من الكائنات الحيَّة التي انقرضت ولم نعلم عنها أي شيء حتى الآن. تعقدت مهمة العلماء الذين اهتمُّوا بعمليات التصنيف في مجال النشوء والتطور، بصعوبة التأكد من أن تماثل الشكلين المختلفين للنوع الواحد من الكائنات الحيَّة نابع من سلف مشترك، أو من تأثير الاختيار التطوري Selective Revolutionary Effect والناتج من عامل البيئة.

وعلاوة على ذلك يعتبر تحديد الفروق الملموسة عملية صعبة، فالتماثل القائم لبعض الكائنات الحيَّة من النباتات والحيوانات، والتي قد يظنها الإنسان أنها من نوع معين لا مثيل له أو من نوع لا يتغير، يتضح بعد ذلك -مع التحليل الدقيق والدراسة والبحث- أنه يوجد مثيل لها أو مقارب منها أو أنها تتغير بتغيير المواسم المناخية السنوية، أو بتغيير المكان، ومن أثر تنوع جغرافية الأرض.

لا ترتبط حدود العالم السياسية مع الحدود الطبيعية القائمة على عدد وأنواع النباتات والحيوانات؛ لذا فإن الجغرافيا الحيوية Biogeography هي فرع من الأحياء يدرس توزيع الحيوانات والنباتات جغرافيًّا. ينقسم العالم إلى مناطق رئيسية -طبقًا للجغرافيا الحيوية- وهي القارات، وإلى مناطق فرعية طبقًا للتضاريس والمناخ المشابه داخل القارة نفسها.

إنَّ المناطق الصحراوية غالبًا ما تعيش فيها الثعالب، والأرانب، والغزلان،

وخلافه من الحيوانات الصحراوية كما يعيش فيها أنواع معينة من النباتات مثل الصبَّار والزيتون، أما الغابات الاستوائية فتحوي أحراشًا تعيش فيها الحيوانات الضارية مثل الأسود، والنمور، والفهود، والأفيال، والنخيل، وخلافه. من هذا المنطلق ينبع التصنيف القائم على طبيعة الأرض، أو المحيطات والبحار والأنهار، طبقًا للتضاريس والمناخ.

يُعتبر علم الأيكولوجي Ecology فرعًا من أفرع علم الأحياء، والذي يهتم بدراسة العلاقات بين الكائنات الحيَّة بعضها البعض، وكذلك بين الكائنات الحيَّة وبيئتها Environment. لا يهتم هذا الفرع فقط بدارسة أماكن تجمعات الكائنات الحيَّة مثل الغابات والصحاري والبقاع الجليدية، والَّتي قد يستمر استقرار الكائنات الحيَّة فيها -بدون تغيير- لمدد قد تصل إلى الآلاف من السنين، ولكن يهتم أيضًا بدارسة تغير وتطور هذه التجمعات. ترتبط البيئة دائمًا بعدد الكائنات الحيَّة التي تحويها، فكل منهما -البيئة والعدد- يُؤثِّر على الآخر، إذا كان علم الأيكولوجي يتكون من تفاعل الكائنات الحيَّة مع بعضها البعض؛ لذا فإنه يندمج بشكل غير محسوس -على المدى القصير- في السلوك الحيواني، وفي السلوك الفردي والاجتماعي للإنسان.

لا يمكن فهم واستيعاب الكائنات الحيَّة بدون التعرف على بنيتها وتركيب أعضائها وتطورها العضوي. يختص علم التشريح Anatomy بدراسة وتحليل بنية الكائنات الحيَّة، بينما يختص علم الأجنة Embryology بدراسة المراحل الأولى لنمو الكائنات الحيَّة، وعملية التطور التي تؤدي إلى الشكل الكامل والنهائي للكائن الحي. يخطو علم الأجنة بخطوات أسرع من علم التشريح، فجميع التغيرات البنيائية التي تحدث في البويضة حتى تتحول إلى حيوان كامل وكذلك عمليات التغيير في بذرة النبات حتى تصل إلى نبات كامل، أصبحت معروفة للمختصين في علم الأَجِنَّة والتطور العضوي، ولكن ما زالت بعض الآليات الداخلية للكائنات الحيَّة غامضة حتى الآن. من العلوم الأخرى التي تختص بتركيب بنية الكائنات الحيَّة هو علم الأنسجة العضوية Histology، والذي يدرس البنيان الخلوي Cellular Structure

للكائنات الحيَّة. أما علم الخلايا Cytology، فهو يبحث في تركيب الخلية ووظائفها والأمراض التي قد تصيبها، ويهتم هذان الفرعان الآخران بدراسة الارتباط بين بنية ووظيفة الخلية ويُعتبران من الفروع الهامَّة لعلم الأحياء.

أُخذ من الزمن وقتٌ ليس بالقصير لمعرفة سرٍّ إفراز خلايا كثيرة لبعض المواد الكيميائية مثل "الهرمونات" "Hormones"، والتي تؤثِّر في خلايا أخرى تتواجد في أجزاء مختلفة من الكائن الحي، فقد تم اكتشاف أن خلية مفردة قد يكون لها وظيفتان مختلفتان تمامًا. إنَّ بعض الخلايا العصبية -خاصة في اللافقريات Arthropods – ليست فقط تولد وترسل نبضات Impulses، ولكنها أيضًا تفرز هرمونات خاصة بالأعصاب Neurohormones. إنَّ المحتوى المائي للحشرات مثلاً يتحكم فيه -إلى حَدٍّ كبير- انتشار هرمونات الأعصاب على طول النسيج العصبي، من عقدة عصبية Ganglion إلى أخرى. لا تقتصر الهرمونات التي تفرزها الخلايا على الحيوانات فقط، ولكنها تتواجد أيضًا في النباتات، حيث إن بداية عملية التزهير Flowering تكون محكومة بإنتاج المادة الملونة في أنسجة وخلايا النبات Pigment، والتي تعتمد على طول مدة تعرض النبات للضوء، وعلى المعدل الدوري لهذا التعرض.

كان لاختراع الميكروسكوب الإلكتروني العون الهام والمؤثر في تقدم علم الخلايا، فقد أدى هذا الاكتشاف العظيم إلى الكشف عن النظام الكامل للنسيج الشبكي لجبلَّة الخلية الباطنية Endoplasmic Reticulum، والذي يتكون من شبكة من الحويصلات Vesicles، والأنابيب الدقيقة Tubules المرتبطة بعضها ببعض، والتي لا يمكن رؤيتها بالمجهر العادي. توجد في هذه الشبكة جينات دقيقة وريبسمات Ribosome تدخل في عملية تركيب البروتين داخل الخلية، من خلال تعليمات جينية Genetic Information لإنتاج بروتين Protein خاصّ بكل كائن حيّ، وبذلك يحافظ على تكامل الكائن الحيّ.

ارتبط علم الخلايا ارتباطًا وثيقًا بعلم الوراثة Genetics والتطور، والذي أحدث

ثورة علمية في حياة الإنسان لتغييره لكثير من المفاهيم الخاصَّة بخلق الإنسان ونشوئه. ساعد التطور في علم الوراثة على كائنات حيّة كانت في سبيلها للفناء بسبب تعرضها لعوامل طبيعية لم تساعد على عملية التلقيح الطبيعي. كان تشارلز بونيت Bonnet صاحب نظرية التشكُّل المسبق Preformation هو أول من أطلق مصطلح التطور Evolution إلى ميدان العلم للتعبير عما كان معتقدًا آنذاك، وهو أن الجنين يتكون من نموذج مصغر في النطفة، تغير هذا المفهوم وأصبح المصطلح يطلق على ثلاثة من جوانب دارسة تاريخ الحياة على الأرض وهي:

١- **التطور الانتقائي Transmissional Evolution**: ويعني النشأة الفجائية لكائن حيّ ذي نمط جديد من خلال فقرة وراثية ناتجة عن طفرة كبرى وهذا الكائن الجديد يصبح الجدّ الأعلى لنوع جديد. وهذه فكرة إغريقية قديمة نقلها إلى مجال البيولوجيا موبرتيوس Maupertius في عام ١٧٥٠. على الرغم من عدم انسجام الفكرة مع مفهوم التطور إلا أنها لاقت قبول كثير من التطوريين على امتداد مائة عام حتى تبنَّاها هكسلي Huxley الذي كان يرفض فكرة الانتخاب الطبيعي.

٢- **التطور التحولي Transformational Evolution**: ويقصد به التغير التدريجي الذي قد لا يكون ملحوظًا، ولكنه في النهاية يؤدي إلى تحول واضح في المعالم (كالذي يحدث للجبال بفعل عوامل التعرية)، وهو غير مقتصر على الكائنات الحيَّة وإنما يعتري أيضًا كل الجمادات حتى خارج كوكب الأرض (تحول النجوم مثلا)... إلا أن أبسط مثال له في عالم الأحياء هو تكوين الجنين من الخلية البيضية. وعلى مستوى الأحياء عامة، ظهرت أول نظرية ذات طابع تحولي قبيل عصر دارون على يد الفرنسي لامارك الذي أطلق اسم التطور التحولي على ظاهرة النشوء الذاتي للنقعيات Infusorian، ثم تحولها تدريجيًا إلى نوع من الأحياء أرقى منها، وقد أدرج لامارك نظريته في كتابه: "فلسفة علم الحيوان" Philosophie Zoologique الصادر عام ١٨٠٩، فلاقت انتشارًا واسعًا، ولكنها ما لبثت أن نالها الكثير من التبديل في كثير من أنحاء العالم، حيث حلَّت نظرية دارون عن الانتخاب الطبيعي محل

معظم أجزائها.

٣- **التطور التبايني Variational Evolution**: وهو مضمون نظرية دارون في التطور من خلال الانتخاب الطبيعي، وبموجبها لا يبقى من الأعداد الهائلة التي حدث في جيناتها تغير متوارث إلا أفراد قليلة ذات أنماط جينية تؤهلها للتكيف مع الظروف، وتلك الأفراد هي التي تتناسل وينتج من ذريتها نسل يمكن وصفه بأنه أصبح مطوَّرًا، بمعنى أنه قد حلَّت به سلسلة تغيرات متوارثة كمحصلة لعوامل ثلاثة هي: حجم التغيرات الجينية السلفية ونوعيتها، والانتخابات التي أدت إلى بقاء الأصلح، ثم التنافس الذي أدى إلى استمرار بقاء الأقوى.

علم الخلايا Cytology

نشر الإنجليزي روبرت هوك Hooke أوَّل بحث في علم الخلية عام ١٦٦٧ حيث استُعملت لأول مرة كلمة خلية بمعناها البيولوجي، ثم توالى وصف الأشياء المجهرية التي لا تراها العين المجردة بواسطة ثلاثة من المجهريين البارزين وهم جرو Grew، والإيطالي مارسيليو ملبيجي Malpighi، وليفنهوك Loewenhock مكتشف العالم الميكروسكوبي. في عشرينات القرن التاسع عشر تطورت صناعة العدسات المكبرة، وتم اكتشاف التكبير بالغمر الزيتي Oil Immersion الذي كان سببًا في إحراز تقدم ملموس في هذا المجال في الفترة ما بين ١٨٢٠، ١٨٩٠، كما ساعد على ذلك التقدم تحسين وسائل إضاءة الأجسام تحت الفحص، واستخدام الكيماويات في تثبيتها على حالتها وهي حيَّة، وكذلك استعمال مختلف أنواع الأصباغ لإبراز التباين بين المكونات المختلفة للخلية (الجدار والنواة والسيتوبلازم والعضيات Organelles). ثم تمكن بعض الباحثين مثل براون Brown، والألماني ماتيوس شليدن Schleiden. والألماني تيودور شوان Schwann من استطلاع المزيد من مكونات الخلية بواسطة ميكروسكوبات بدائية صنعوها بأنفسهم، وكان عدم دقتها سببًا في تسجيل مشاهدات خاطئة أو غامضة، أدت إلى بعض التناقضات التي زال معظمها فيما بعد بفضل قيام بعض شركات

البصريات بإنتاج ميكروسكوبات محسنة سهَّلت فحص الخلايا إلى درجة كبيرة، وساعدت على ذيوع الدراسات الخاصَّة بعلم الخلايا. أدى التطور في تكنولوجيا الميكروسكوب إلى قيام شليدن وشوان بتشكيل نظرية الخلية في ثلاثينيات القرن التاسع عشر.

نشر البيولوجي مايين Meyen في النصف الأول من القرن التاسع عشر بحثًا شاملاً مفصلاً ودقيقًا عن الخلايا النباتية، سجل فيه ظاهرة التزايد العددي للخلايا عن طريق الانقسام، واستخدم مادة اليود في صبغ حبيبات النشا في السيتوبلازم Cytoplasm (مادة الخلية الحيَّة باستثناء النواة)، ووصف بدقة البلاستيدات Plastid الخُضر (العضيات التي تقوم ببناء الكربوهيدرات في عملية التمثيل الضوئي). شهدت تلك الفترة إنجازات ملموسة في مجال علم الخلية على يد باحثين آخرين منهم روبرت براون Brown الذي أعلن في عام ١٨٣١ اكتشافه جسمًا في وسط الخلية أسماه النواة، وإن كان لم يذكر شيئًا عن أهميتها، وبعد ذلك بسبع سنوات نشر عَالِم النبات، شليدن بحثًا أعلن فيه أن الخلايا الجديدة تنشأ من نمو النواة، ولذلك أعاد تسميتها: أم الخلايا Cytoblast التي زعم أنها تتكون من السائل الذي تحتويه الخلية وهذا يعنى أن الخلية نشأت طبقًا لنظرية التكوين المتتابع، ولكن مايين نشر بحثًا أعاد فيها مقولته السابقة بأن الخلايا الجديدة تتكون بانقسام الخلايا القديمة.

ومن واقع ما أجراه شليدن من فحوص سيتولوجية لأجزاء النبات، أكَّد ما سبق أن توصَّل إليه مايين من أن أي نبات يتكون بالكامل من خلايا، وإن كانت بعضها متحوِّرة لدرجة كبيرة، ومما ساعد هذين البحثين على الوصول إلى هذه الحقيقة أن للخلايا النباتية جدارًا واضحًا تفصل بينها (على خلاف الخلايا الحيوانية التي لا يفصل بينها إلا أغشية بالغة الدقة)، ولكن تيودور شوان تمكن في عام ١٨٣٩-بعد فحص العديد من الأجزاء الحيوانية- من أن يتوصل إلى النتيجة نفسها بالنسبة للحيوانات، وإن اختلفت خلاياها عن الخلايا النباتية، غير أنه وقع في الخطأ نفسه الذي سبقه إليه شليدن بإقراره نظرية نشأة الخلايا الجديدة من نوى الخلايا القديمة،

لكنه أضاف أن النوى الجديدة يمكن أن تنشأ من مادة واقعة بين الخلايا Intercellurar Material. وإن كانت نظرية شليدن وشوان عن نشأة النوى الجديدة من مادة خلوية (السيتوبلازم)، أو بين خلوية، أو حتى من مواد عضوية لم تتشكل بعد، فإنها تتوافق مع فكرة التكوين التتابعي التي يؤمن بها علماء الأجنَّة، ومع نظرية التكوين والتوليد الذاتي Spontaneous Generation التي ظلَّت تلقى قبولاً واسعًا حتى ذلك الوقت، غير أن نظرية تكوين نوى أو خلايا جديدة من مواد عضوية غير متشكلة، كانت موضع تفنيد قوي في عام ١٨٥٢ من العالم الألماني روبرت ريماك Remak الذي أوضح أن كل خلية من كل نسيج في جنين الضفدع إنما هي نتيجة انقسام خلية موجودة قبلها بدءًا من الخلية البيضية، وبعد ذلك بثلاثة أعوام أتبع ذلك بنشر مؤلف كبير موضَّحًا جيدًا بالصور، مما زاد جرعة التفنيد الموجه إلى نظرية شليدن وشوان، وفي السنة نفسها أيد الألماني رودولف فيرتشو Virchow استنتاجات ريماك، وتفوه بمقولته الشهيرة: (كل الخلايا من خلايا).

لم تتضمن النظرية الخلوية الجديدة ما يُلقي الضوء على ماهيَّة النواة على الرغم من أن ريماك قد أوضح جيدًا أن انقسامها يسبق انقسام السيتوبلازم، إلا أن هذه الملاحظة قد تجاهلها الآخرون ومنهم أحد رواد علم الخلية وهو الألماني هوفميستر Hofmeister، ونتيجة لذلك لم يعترف بحقيقة أن وجود نواة ضروري لتكوين أخرى. لم يتمكن العالم البريطاني ألكسندر فليمنج Fleming من تعديل مقولة ريماك وصياغة شعاره المشهور: (كل النوى من نوى) إلا بعد ثلاثين عامًا. قدمت عملية الإخصاب في النهاية أهم مفاتيح المشكلة، وكانت البداية هي ما قدمه العالم السويسري رودولف كوليكر Kolliker من دليل على أن البيضة خلية، وما قدمه الألماني كارل جيجنبور Gegenbour من دليل آخر على أنَّ الحيمن (الحيوان المنوي) خلية أيضًا، على أن دورهما في علمية الإخصاب وما يتلوها من نمو وتكوين جنيني قد ظل في البداية موضع خلاف كبير، فالإخصاب في نظر المشتغلين بالفيزياء ما هو إلا عملية فيزيائية قوامها نقل الانفعال الناتج عن تلامس الحيمن بالخلية البيضية، أي إنه

ببساطة إشارة بدء تفلجها، على أن معارضي هذا الرأي كانوا يعتبرون الإخصاب رسالة يحملها الحيمن إلى البويضة التي هي الشِّقّ المهم في عملية الإخصاب.

قبل أن يتحقق الانتصار لوجهة النظر الأخيرة كان لا بد من استبعاد عدد من الأفكار الخاطئة عن عمليات التكوين، وأهمها فكرة التشكيل المسبق Preformation (الاعتقاد بوجود مخلوق مصغر "معلب" إما في الحيمن أو في البويضة). وقد لاقت هذه الفكرة تسفيهًا من قِبَل العلماء مثل بلومنباخ Blumenbach لتحل محلها نظرية التكوين التتابعي Epigenesis (الاعتقاد بأن التكوين يبدأ من كتلة غير متميزة تكتسب التشكل من قوى خارجية). أما الفكرة الثانية التي لاقت القبول هي فكرة اشتراك الحيمن والبويضة -بالتساوي- في تكوين الجنين بكل خصائصه المميزة، ومعنى ذلك الاعتراف بالجوانب الجينية لعلمية الإخصاب، وأول دليل على ذلك كان في ستينيات القرن الثامن عشر عن طريق تجارب التهجين التي أجراها كولريتر Koelreuter الذي ظلت أعماله مجهولة حتى أعلن آخرون في سنوات لاحقة عن نتائج مماثلة، وكان قبول فكرة أن للحيمن دورًا أهم من مجرد حفز البويضة على التفلج Cleavage، وبالرغم من ذلك ظل ميشر Misher (مكتشف الحمض النووي) متمسكًا بالأسلوب الفيزيائي في تفسير الظواهر البيولوجية في سبعينيات القرن التاسع عشر.

في الربع الثالث من القرن التاسع عشر نجح بعض الباحثين في تسجيل عملية ولوج الحيمن في البيضة، بل واندماج نواتيهما أحيانًا، غير أنهم أساءوا فهم مشاهداتهم بسبب المفاهيم الخاطئة التي كانوا يعملون في إطارها، حتى جاء أوسكار هرتفيج Hertwig في عام ١٨٧٦، وفسَّر بوضوح عملية الإخصاب وما يتلوها من انقسام اللاقحة Zygote الناتجة وبدء تكوين الجنين، واللاقحة أوالزيجوت هي البويضة الملقحة (يتكون الزيجوت في الإنسان كنتيجة لاندماج النطفة/ الحيوان المنوي Sperm، مع البويضة الأنثوية Ovum). وبعد ذلك بثلاث سنوات أكد فول Fol مشاهدات هرتفيج وأضاف إليها ما وصل إلى النحو الذي نعرفه الآن. استُبعدت تمامًا الفكرة التي ظلت سائدة عشرات السنين السابقة وهي أن نواة الخلية تتحلل قبل كل انقسام

خَلوي، وذلك بعد ثبوت خطئها بالنسبة لعملية الإخصاب، وسُرعان ما أظهرت التقنيات المجهرية المحسنة أن أوَّل خطوة في انقسام كل خلية هي انشطار نواتها فتيليًّا Mitosis of Nucleus. لم يكن مفهومًا في ذلك الوقت أن دور الحيمن في إخصاب البويضة كَانَ ذا شقّين مختلفين تمامًا:

الأول: هو نقل المادة الجينية (الوراثية) للأب إلَى قلب البويضة.

والثاني: هو إطلاق إشارة بدء تكوين الجنين، وعندما تمكن لويب Loeb من حفز البيض غير المخصب إلى الانقسام (الذي نتج عنه تكوين أجنة في أطوار مبكرة) أذاع بيانات عن (التكاثر العذري الصناعي) والَّتي كانت تدل على أنه كان لا يعلم شيئًا عن دور الإخصاب في نقل المواد الجينية.

وبحلول سبعينيات القرن الـ١٩ أصبح معظم المشتغلين بالبحوث السيتولوجية على يقين مما يحققه اندماج نواتي الحيمن والبويضة من توليف المواد الجينية لِكِلاَ الأبوين. أما كُنْه هذه العملية وكيفية حدوثها فقد ظلاَّ غامضين تمامًا، وكان يتطلب فهمهما وصفًا صحيحًا لعملية نضج الخلايا الجرثومية (الأمشاج الابتدائية) عن طريق نوع خاصّ من الانقسام الخلوي الذي وُصف فيما بعد بالاختزالي، وهذا هو الاكتشاف الذي توصل إليه ثلاثة من السيتولوجيين وهم: الألماني فايزمان Weismann، والبلجيكي فان بنيدن Beneden والألماني بوفري Boveri. كان السبب في سوء فهم المشاهدات السيتولوجية التي أجريت هو خطأ المفاهيم التي كانوا يعملون في إطارها، لقد كان رو Roux يتساءل: ما ضرورة تلك العملية المعقدة التي تسمى الانقسام الفتيلي؟ لماذا لا تنشطر النواة ببساطة إلى نصفين يستقر كلٌّ منهما في إحدى الخليتين البنويتين الناتجتين عن الانقسام المباشر؟... لقد وضع رو قدمه على طريق الإجابة الصحيحة عن تساؤلاته، عندما استنتج أن المادة النووية لا بُدَّ من أن تكون غير متجانسة، وأن عملية شاقَّة كالانقسام الفتيلي ضرورية لعدالة التوزيع -الكيفي لا الكمي فقط- لمادة النواة الأصلية (الأم) بين النواتين البنويتين.

كانت نقطة بداية التصورات الصحيحة هي مشاهدة التغير في مظهر محتويات النواة عندما تبدأ عملية انقسام الخلية، إذ تتحول شبكة الخيوط الدقيقة المحملة بالجينات إلى أجسام غليظة واضحة الهيئة قوية التلون بالأصباغ المستعملة في تجهيز العيِّنات، وكانت المشكلة ممثلة في محاولة فهم معنى هذا التحول الذي يحدث بانتظام بين كل انقسامين، وبخاصَّة بعدما أثبت فحص خلايا أنواع مختلفة من الكائنات أن عدد هذه الأجسام الصبغية -التي سميت فيما بعد بالكروموسومات- ثابتٌ بالنسبة لكل نوع مهما اختلف مصدر العيِّنة سواءً على مستوى النسيج أو العضو أو الفرد.

وفي البداية كان من الصعب تكوين رأي يصلح كنظرية لتقنين هذه الظاهرة ما دام يوجد الافتقار إلى أدنى فكرة عن ا لدور البيولوجي لمادة الكروماتين التي تتكون منها هذه الكروموسومات، على الرغم مما سبق إقراره من أن مادة الكروماتين ما هي إلا الـ(نيوكليين Nuclein). كان فايزمان يُصرُّ على أن المادة الوراثية موجودة في الكروموسومات، وعلى الرغم من أن تفاصيل نظريته عن توريث الصفات كانت خاطئة تمامًا، إلا أنها حوَّلت الانتباه إلى الاتجاه الصحيح. يمكن إرجاع فهم ماهيَّة الكروموسومات إلى بوفيري الذي بدأ بملاحظة بسيطة، هي ثبات عددها في أثناء الانقسام الخلوي، وباستخدام عينات جيدة تمكن من الكشف عن الشخصية المستقلة لكل كروموسوم، وهي المتمثلة في صفات تميزه عن غيره من كروموسومات الخلية نفسها، التي يستعيدها عند بدء كل انقسام خلوي بعد أن كان فقدها عندما تحلل وذاب في مادة النواة، وقد دفع هذا الاكتشاف بوفيري إلى وضع نظريته المُسَمَّاة Continuity Theory، والتي تفضي بأن الكروموسومات لا تفقد شخصيتها في أثناء فترة سكون النواة (ما بين كل انقسامين متتاليين)، بل يحتفظ كل كروموسوم بشخصيته المستقلَّة -ما دامت الخلية- حيَّة مهما تعدَّدت انقساماتها (أي إن هذه الشخصية تظهر في الخلايا البنوية لجميع الأجيال).

لقد هُوجِمت هذه النظرية من بعض رُوَّاد علم الخلية، بمن فيهم هرتفيج إلا أنها أصبحت بعد ذلك أساس النظرية الكروموسومية في الوراثة. ومع حلول عام ١٩٠٠

استمرَّ التقدم في مجال علم الخلية على مُعدَّله السابق، وقد كان أول إنجاز رئيسي شهده القرن العشرون هو اكتشاف البنية الدقيقة للخلية بمساعدة المجهر الإلكتروني الذي كشف عن العضيات الأندوبلازمية Endoplasm أوالجبلَّة الداخلية، وأخيرًا أتاح علم البيولوجيا الجزئية Molecular Biology دراسة مستفيضة للمكونات الدقيقة للخلية ونواتها.

علم التصنيف Taxonomy

يتضمَّن علم التصنيف وصف أنواع الأحياء وترتيبها في مجموعات متجانسة. يوجد في نظام التصنيف ؛ وظيفتان رئيستان :

أوَّلهما : تيسير تخزين المعلومات.

والثانية : العمل كأساس للبحث المقارن، فالتصنيف هو مفتاح نظام تخزين المعلومات لعلم الأحياء. يمكن تلخيص القواعد الرئيسية لنظم التصنيف في النقاط الأربع التالية :

١- توضع كل مجموعة من الأشياء المتجانسة في قسم خاص (أي طائفة معينة).
٢- توضع كل الأفراد غير المتجانسة في الطائفة التي يشترك مع أفرادها في أكبر عدد من الصفات.
٣- تنشأ طائفة مستقلّة لأي فرد يبلغ اختلافه عن الأفراد التي صنفت حدًّا يحول دون إدراجه مع أيٍّ منها في طائفته.
٤- تُرتب الطوائف المتقاربة في مجموعة مستقلّة، والمجموعات المتقاربة في مجموعة أكبر، وهكذا في تسلسل فِئوي تَصاعُدي، بحيث يمثل كل مستوى درجة معينة من التمايز.

يعني مصطلح النوع Kind في التصنيف الأحياء المشابهة لأبويه والمتميزة عن سواها من الأحياء ومن نفس عمره وشِقّه التناسُلِيّ، لقد كان من المعتقد قديمًا أن كل

نوع من الأحياء قد خُلِق مستقلاً عن غيره، ومن ثمَّ نشأ الاعتقاد بأن النوع هو مجموع ذُرِيَّة أول زوجين خلقهما الخالق من صنفه نفسه، أي على الهيئة الّتي نرى أفراد هذه الذرية عليها اليوم. أما بالنسبة للمختص في عَالَم الأحياء فالنوع يعني مجموعة من الأفراد المتشابهة فيما بينها والمختلفة عن غيرها من أفراد أي مجموعة أخرى.

إنَّ المقصود بالاختلاف هو التباين في الملامح المورفولوجية Morphology أي الشكل الخارجي. ولقد ظلَّ هذا المفهوم سائدًا حتى الثلث الأخير من القرن التاسع عشر، وفي ظله فإن الأفراد التي تقل الاختلافات بينها عما هو موجود بين النوعين كان يطلق عليها اسم التغيرات Variety وهذا هو ما يسمى المفهوم النمطي Typological أو الجوهري Essentialistic للنوع.

يمكن تلخيص الصفات المميزة للنوع في أربع نقاط رئيسية:

١- كل نوع يتألف من أفراد متشابهة، أي مشتركة في الجوهر نفسه.
٢- كل نوع منفصل عن كل ما عداه من الأنواع بحدود مانعة.
٣- كل نوع له صفة الثبات مهما اختلف المكان أو الزمان.
٤- الاختلاف ممكن بين أفراد النوع الواحد ولكنه محدودٌ جدًّا.

في بدايات القرن التاسع عشر اتضح خطأ هذا المفهوم للنوع، ولقد كانت النقطة الثالثة هي أكثر ما تصدَّى له دارون بالتفنيد على أساس دراسات جغرافية، وخصوصًا لما تناوله بالتحليل من عينات العشائر المحلية إذ إن نتائج هذه الدراسات كانت تؤكد أن الأنواع تتألف من عشائر تختلف من مكان لآخر، بل إن أفراد العشيرة الواحدة كانت بينها اختلافات، فالأنماط أو الشكل النمطي لا وجود لها في الطبيعة.

إن الاختلافات المورفولوجية داخل العشيرة الواحدة التي يتزاوج أفرادها، أو بين عشيرة وأخرى من الصنف Kind نفسه كثيرًا ما كانت أكبر من الاختلافات بين عشائر متشابهة موروفولوجيًّا ولكن التزاوج لا يتم بينها. ومن هنا يفقد المعيار المورفولوجي

صلاحيته لتحديد النوع. ولقد زاد الأمر تعقيدًا اكتشاف أنواع ذات أخوة أو قرابة في النوع Sibling Species، وهي عشائر طبيعية لا يمكن التمييز بينها موروفولجيًّا ولكنها معزولة تزاوجيًّا، بمعنى أن التناسل بينها مستحيل بسبب عوائق فسيولوجية أو سلوكية، ومثل هذه العشائر شائعة الوجود على أعلى مستويات المجموعات التصنيفية للنباتات والحيوانات. لذا كان لا بُدَّ من البحث عن معايير جديدة لوضع الحدود الفاصلة بين الأنواع في مثل هذه الحالات، ومن هذا المنطلق انبثق مفهوم النوع البيولوجي Biological Species Concept الذي يعرِّف النوع بأنه: (مجموعة من العشائر الطبيعية القابلة للتزاوج فيما بينها والمعزولة تناسليًّا جينيًّا عن غيرها من المجموعات المماثلة بسبب عوائق فسيولوجية أو سلوكية). والوسيلة الوحيدة لفهم صلاحية هذا المفهوم هي محاولة الإجابة عن أسئلة السببية الدارونية مثل: لماذا توجد أنواع؟ ولماذا لم توجد في الطبيعة منظومة متصلة من الأفراد المتشابهين والقابلين للتناسل فيما بينهم؟

والإجابة على هذه التساؤلات تكشفها دراسة الهجن Hybrids أي الأفراد من ذرية ذكر وأنثى مختلفة في النوع كما في حالة البغَال الناتجة من تزاوج الحمير والخيل، فالذرية في مثل هذه الحالات تكون في العادة أفراد شِبْه عقيمة لا تمتد حياتها إلى أبعد من الجيل الثاني ثم تنقرض على خلاف الذرية الناتجة من تزاوج أبوين من النوع نفسه Conspecies حيث يظل إمكان التناسل باقيًا ما بقي من النوع ذكر أو أنثى منتميين إلى النوع نفسه، ويمكن تسميتها (آلية العزل التناسلي)، وهذه ميزة انتخابية للتنوع بمعناه العلمي Speciation تجعله الضمان الوحيد لاستمرار تجانس التركيبة الجينية.

بيولوجيا التكوين

يتواجد على كوكب الأرض أنواع كثيرة من الكائنات الحيَّة، يتراوح عدد كل نوع من خانة الآلاف إلى خانة البلايين، يموت الكثير منها كلَّ يوم، وتتوالد أعداد أخرى لتستمر منظومة الكائنات الحيَّة في البقاء، لا يحدث التكاثر فقط عن طريق التزاوج بين الذكر والأنثى (التكاثر التزاوجي الجنسي)، ولكن هناك طرقًا عديدة

أخرى يتم فيها التكاثر لا جنسيًّا. إحدى هذه الطرق هي انشطار الكائن الحي لينمو كل جزء حتى يصبح كائنًا جديدًا كاملاً، وهي الطريقة المعتادة للتكاثر في كل بدائيات النوى مثل البكتيريا، وفي كثير من الأوَّليات والفطر، وفي بعض شعب اللافقريات. يوجد طرق أخرى للتكاثر اللاتزاوجي مثل التبرعم Budding الشائع بين النباتات وبعض اللافقريات حيث ينشأ في مكانٍ ما في جدار الجسم بروز صغير يُسمَّى البرعم، سُرعان ما ينفصل ويواصل نموه إلى أن يصبح كائنًا حيًّا كاملاً، ويسمى هذا النوع من التكاثر اللاتزاوجي بالتكاثر الخضري؛ لأن جسم الكائن الجديد ينشأ من خلايا خضرية أي بدنية، بمعنى أنها مشتقة من أنسجة غير متخصصة لإنتاج الأمشاج (ذكرية أو أنثوية).

يوجد نوعٌ خاصٌ من التكاثر اللاتزاوجي يعرف بالتكاثر العذري Parthenogenesis ، ينشأ الكائن فيه من خلايا جُرثومية متخصصة في إنتاج الأمشاج الأنثوية، وفيه تتطور الخلية البيضية من دون إخصاب حتى تصبح كائنًا جديدًا.

يتواجد التكاثر العذري في كثير من اللافقريات، ويتم بالتناوب مع التكاثر الجنسي في حشرات المنِّ وفي القشريات الهائمة Planktonic Crustacea. أما في الكائنات الأكثر رُقيًّا فالأسلوب السائد هو التكاثر الجنسي الذي يتضمن كثيرًا من العمليات المعقدة في إنتاج البيض والمني، والتزاوج بين الذكر والأنثى ثم رعاية الجنين.

إن أكثر الظواهر الحياتية إعجازًا -بعد منظومة الدماغ البشري- هي سلسلة التكوين، بدءًا من البيضة المخصبة حتى تكوين وتشكيل كائن حيٍّ كامل. تتسم العمليات التكوينية بالتنوع مع بعض التشابه بين الكائنات المتقاربة. كان قدماء المصريين هم أول من تكهنوا بعملية التكوين، ثم كتب الإغريقي أرسطوطاليس أعماله في علم الأجِنَّة الوصفي والمقارن، وتركيب أعضاء التناسل ووظائفها وظاهرتي الإباضة Oviparity والولادة Viviparity وصور التزاوج في مختلف أنواع الحيوانات، ومنشأ المني وخصائصه.

لم يحقق علم الأجنة أي تقدم ملموس بعد أرسطوطاليس إلا في القرن السابع عشر بعدما فحص هارفي بيض الدجاج المحضون بعناية بالعين المجردة وبالاستعانة بعدسات مكبرة بسيطة، فاكتشف على غشاء المُحّ رُقعة غامقة اللون فأعلن هارفي أنها هي التي ينشأ منها الجنين. وقد بين هارفي لاحقًا عدم وجود دم حيض متجلط في أرحام الثدييات يمثل إسهام الأنثى في تكوين الجنين، مما قاده إلى افتراض وجود ما أسماه بيضة الثدييات.

وبعد وقت قصير تمكن ستنسن Stensen، ودي جراف De Graff من اكتشاف حوصلات في نسيج العضو الأنثوى المواجه لفوهة القناة المؤدية إلى الرحم، غير أن وجود بويضة في الثدييات لم يصبح حقيقة واقعة إلا في عام ١٨٢٧ عندما اكتشفها كارل إرنست بايير Baeyer فأصبح واضحًا أن المبيض هو المقابل الأنثوى للخصية.

في السنوات اللاّحقة لعصر هارفي اكتشف الكثير من التفاصيل حول تكوين جنين الدجاج، وبخاصة بعد اختراع المجاهر المركبة بفضل عدد من الباحثين مثل ملبيجي، ومن بعده الفسيولوجي الإيطالي لازارو سبالنزاني Spallanzani وفون هالر Haller، ثم كاسبار فردريك فولف Wolff.

كانت الدراسات الجينية تجري في القرن التاسع عشر بطريقة أقرب إلى المنهج العلمي، حيث كانت الحقائق الثابتة هي الأساس الوحيد المعتمد عليه في وضع النظريات الصحيحة في كل مجالات البيولوجيا الوظيفية، ففي مستهل ذلك القرن كان علم الأجنة ممثلاً بثلاثة من العلماء: هم الروسي كريستيان باندر Pander، وهينرش راذكي Rathke، وفون بايير Baer الذين لم يضعوا نظرياتهم إلا بعد وصف دقيق لما شاهدوه من خطوات تكوين الأجنة، وبخاصة جنين الدجاج. وقد تضمنت أعمالهم: التعرف على الحبل الظهري والأنبوب العصبي، ولكن أهم ما أنجزوه كان اكتشاف الطبقات الجرثومية الثلاث، كما قارنوا ما اكتشفوه في الدجاج بمشاهدتهم في فقاريات أخرى، وفي بعض اللافقاريات. لقد اتخذ الدجاج والضفدع مادة نموذجية للدراسات

الجينية لسهولة الحصول عليها، غير أنهما لا يمثلان إلا شعبة واحدة هي الفقاريات، بينما يوجد عدد كبير من أنماط التكوين الجنيني في الشعب الحيوانية الأخرى، يختلف بعضها عن بعض في وجوه كثيرة أهمها طريقة تفلُّج الخلية البيضية والتي تعتبر أولى خطوات التكوين الجنيني المبكر.

ولدت نظرية الخلية في ثلاثينيات القرن التاسع عشر على يد شوان وشليدن، فكان من بين مزاياها العديدة أن وحَّدت بين المفاهيم الغامضة والمتناقضة عن المدلول العلمي للبيض والمني، فبالنسبة للبيضة لم يعرف أنها خلية واحدة إلا بناء على نتائج الفحوص التي أجراها ريماك وأعلنها عام ١٨٥٢، أما بالنسبة للحيامن التي كان ليفنهوك قد اكتشفها قبل ذلك بعشرات السنين، فقد حسبها الكثيرون طفيليات دقيقة في المني، وإن كان قد أعلن فريق آخر أنها تحمل الجزء الأبوي من الجنين، ولكن لم يتبين أحد حقيقة أمرهما إلا في عام ١٨٤١، عندما قدم كوليكر الدليل على أن كل حيمن إنما هو عبارة عن خلية واحدة هي المشيج الذكري.

ظل معنى عملية الإخصاب غير محدد زهاء أربعين عامًا بعد هذين الاكتشافين، حتى إن ميشر Miescher -مكتشف الحمض النووي- قد شبهها في عام ١٨٧٤ بنبضة أو إشارة بدء لعملية التلقيح أي انقسام الخلية البيضية . قدم بعض المختصين بعلم الخلية الدليل على أن الحيمن يؤدي دورًا أهم وهو نقل نواة المشيج الذكري -وفيها مجموعة أحادية من الكروموسومات- إلى نواة البويضة، وفيها أيضًا مجموعة أحادية، حيث تتحد المجموعتان فتتكون نواة اللاقحة (الزيجوت) Zygote ذات المجموعة الثنائية. بهذا الاتحاد يكون الإخصاب قد حقق هدفًا ثالثًا أكثر أهمية، وهو توليف جينات الأب والأم في خلايا الذرية، وهذه الحقيقة كان قد اكتشفها قبل ذلك بزمن طويل بعض المهتمين بتهجين النبات مثل كولرويتر.

ظل لغز الزيجوت -نطفة من مادة غير متشكلة تتحول إلى كائن حي متكامل- قائمًا نحو ثلاثة قرون، إلى أن هلَّ القرن العشرون؛ حيث تبلورت الآراء في افتراضين

رئيسين هما التشكلي القبلي / السلفي، والتكوين التتابعي.

استخلص أنصار الفكرة الأولى نظريتهم من ملاحظة أن البيضة المخصَّبة لا تضل طريقها على امتداد مسيرة تطورها إلى كائن بالغ من النوع نفسه للأم، فافترضوا وجود نموذج دقيق للكائن المستقبلي داخل أحد المشيجين لحظة التقائهما في عملية الإخصاب، وأن تكوين هذا الفرد الكامل ما هو إلا مجرد عملية بسط Unfolding لهذا النموذج المطوي وتكبيره، وأطلقوا على هذه العملية كلمة مستحدثة هي النشوء والتطور Evolution، عزز هذا الرأي زعم الباحث ملبيجي -أول رواد هذه النظرية- أنه تمكن بالفحص المجهري لبيضة دجاج مخصَّبة من رؤية أول أطوار جنين الدجاج، فاعتبرها علامة على وجود نموذج للدجاج المستقبلي فيها. كان الامتداد المنطقي لنظرية التشكل القبلي هي افتراض أن نموذج الفرد المستقبلي لا بد أن يحوي بداخله صورة ذريته أيضًا. ومن هذا التصور نشأ ما يسمى "نظرية التعليب أو الصندقة" Theory of Emboitment.

ظهر سؤال عن موضع نموذج الفرد المتشكل سلفًا: هل هو البويضة أم الحيمن؟ ... انقسمت الآراء إلى اتجاهين، ولكن العديد من الأعمال المنشورة في ذلك الوقت كانت تصف -بل وتصور- قزمًا بشريًّا مكتومًا داخل خلية منوية. أما في عالم النبات فمن الواضح أن نظرية التشكل القبلي ونظرية الصندقة (المنبثقة منها) قد تم رفضهما قبل ذلك بعشرات السنين بفضل نتائج تجارب التهجين، التي أجراها كولرويتر في عام ١٧٦٠، والتي قدمت الدليل على اشتراك الأب والأم بالتساوي في تحديد خصائص الذرية. غير أن هذه النتائج الدالة على الحقيقة قد ظلت مجهولة لفترة طويلة قبل نشرها.

كانت لنظرية التكوين التتابعي الغلبة، وخاصة بعد عجز كل التقنيات المجهرية المحسنة عن أن تستكشف أي أثر لكيان تشكيلي في البويضة الحديثة الإخصاب، وهكذا بقيت طريقة التكوين الجنيني لغزًا محيرًا حتى مستهل القرن العشرين، عندما

تطور علم الموروثات Genetics وتقدم نحو الحل في ضوء ما توصل إليه علماء الوراثة من أن الخصائص المميزة لأي نوع من الكائنات الحيَّة لها وجهان:

أحدهما: ظاهر واسمه الفينوتيب Phenotype، وهو جماع صفاته الظاهرة التي بها نتعرف إليه، **أما الوجه الثاني**: فهو خفي ويسمى: الجينوتيب Genotype، وهو التركيب الجيني الذي تتولد منه هذه الصفات، فهو من مكمنه في نواة الخلية يوجه كل العمليات المؤدية إلى ظهور كل صفة؛ لتصبح ظاهرة بعد أن كانت خفية؛ وبناء على ذلك يكون الجينوتيب بوجوده المجرد هو البديل العلمي لعنصر التشكيل القبلي، كما يكون هو نفسه أيضًا بتحكمه في عمليات التكوين البديل العلمي لعنصر التكوين التتابعي، والمحصلة هي اكتمال تكوين جنين متميز الأعضاء من خلية واحدة تبدو غير متشكلة هي البويضة.

جاء علم البيولوجيا الجزيئية؛ ليزيح اللثام عن مجاهل التكوين، عندما أعلن علماؤه اكتشافهم لبرنامج جيني Genetic Program مسجَّل على شريط جزيء الحمض النووي "دنا" DNA . ينتقل هذا البرنامج من خلايا الأبوين -من خلال الحيامن والبويضات- إلى الزيجوت حيث يمارس دوره المزدوج المذكور، وهكذا يتضح أن تكوين جنين -مطابق في صفاته لنوع الأبوين- إنما يتم كمحصلة للجمع بين عامل التشكيل القبلي وعامل التكوين المتتابع، وبذلك وضعت نهاية النزاع بين الفريقين.

إن خلايا الأعضاء المختلفة في جسم الكائن الفرد ليست متشابهة إطلاقًا، وينطبق هذا أيضًا بالنسبة للجنين الذي تنشأ كل خلايا أعضائه المختلفة من الزيجوت، وهو خلية واحدة تبدو مادتها متجانسة، فكيف تمايزت الخلايا الناتجة عن انقسام هذه الخلية الواحدة، بحيث أصبح بينها من الفروق الجسيمة ما نراه مثلاً بين خلايا الجهاز العصبي وخلايا القناة الهضمية... إلى آخره؟. زادت مشكلة التمايز الخلوي غموضًا حتى بعد أن تم التحقق من أن كل ما سوف يطرأ على الجنين من تغيرات مقرر سلفًا وفقًا لفعل الجينات المستقرة في نواة الخلية الزيجوتية وبالتحديد على الكروموسومات.

زعم فايزمان أن نواة كل خلية من الجسم تحتوي على العناصر الجينية نفسها، فإذا كان هذا الزعم صحيحًا، فكيف يمكن أن تنشأ كل هذه الفروق الجسيمة بين الخلايا في أثناء عملية التكوين؟... كان أبسط تفسير هو افتراض حدوث بعض الخلل في توزيع شطائر الكروموسومات على الخليتين الناتجتين عن انقسام الخلية الأم، وهذا الخلل مهما كان طفيفًا يؤدي إلى اختلاف الخليتين البنويتين في التركيب الجيني، ومن ثم ينشأ تمايزهما الذي يتوقف حجمه على نوعية العناصر الجينية التي استقرت في كل منهما. حظيت نظرية التوزيع غير المتساوي بتأييد ساحق، استمر قرابة عشرين عامًا على الرغم من قيام الباحث رو Roux في عام ١٨٨٣ بتفنيدها بتساؤله المنطقي: (لو كانت نظرية التوزيع غير المتساوي صحيحة، فلماذا لا تنقسم النواة ببساطة ومباشرة إلى نصفين يصبح كل منهما نواة لإحدى الخليتين البنويتين بدلاً من كل هذه الخطوات المعقدة التي تمر بها عملية الانقسام الفتيلي؟). وفي القرن العشرين قدم علماء البيولوجيا الجزيئية إنجازات تبين أن النزعة إلى التمايز صفة كامنة في كل خلية، ولكن الجينات المتحكمة في ظهورها لا تنشط في جميع الخلايا في وقت واحد، فالجينات الحافزة على التمايز تمارس نشاطها وفقًا لآليات محددة، أي بنظام يناسب احتياجات الخلية، كما أن البرنامج الزمني لهذا النشاط ينفذ على مرحلتين: الأولى سبق إقرارها وسجلت في النمط الجيني الكامن في نواة الخلية، والمرحلة الثانية تحدد وفقًا لإشارات تصدرها الخلايا المجاورة.

المنظومة الوراثية

ظهر علم دراسة الجينات Genetics كفرع بيولوجي مستقل قبل حلول القرن العشرين، وكان رواده يستهدفون جلاء الغموض عن ظاهرة التكوين، وبخاصة العوامل المؤثرة فيها، ولكن سرعان ما تحول المهتمون بهذا الفرع الحديث عن هذا الهدف، وانصرف معظمهم إلى متابعة انتقال الصفات من الآباء إلى الأبناء، أي الاهتمام بعلم الوراثة Heredity الذي كان عالم النبات تيودور مندل Mendel أشهر رواده في النصف الثاني من القرن التاسع عشر. تشعب علم دراسة الجينات إلى فرعين

متميزين:

الأول: هو علم انتقال الجينات Transmission Genetics، ويضم كل أعمال مندل، والثاني هو Physiological Genetics أي علم الجينات التكويني.

حتى بداية القرن العشرين كان يبدو أن علم الجينات قد تجمد على وضعه التقليدي بأن ظلت الدراسات محصورة في ملاحظة دور الجينات كوحدات مولدة للصفات المتوارثة، وهكذا ظل رواد هذا العلم، حتى نهاية ثلاثينيات القرن العشرين، لا يعرفون عن كنه الجينات إلا ما تكشفه لهم الطفرات الوراثية Mutations وخاصة ذات الآثار المدمرة أو القاتلة. كانت حصيلة هذه الدراسات حتى بداية الأربعينيات متواضعة ولا تتجاوز تحديد الجزء الذي تأثر بالطفرة سواء كان عضوًا أو نسيجًا. وفي عام ١٩٤٤ دخل علم الجينات التكويني عصرًا جديدًا، عندما تبين على يدي العالم إيفري Avery أن الحمض النووي "دنا" DNA هو المتحكم في تخليق البروتينات اللازمة لبناء جسم كل كائن حي، وذلك بإصدار تعليمات يحدد فيها أنواع وكميات الأحماض الأمينية، وفقًا لنوع العضو والنسيج الذي ستدخل هذه البروتينات في بنائه ابتداءً من مرحلة التكوين حتى نهاية الحياة.

يحمل الكائن الحي جهازه الوراثي Heredity System في نواة كل خلية من خلاياه. يتألف هذا الجهاز أساسًا من عدد مزدوج ومحدد من الكروموزومات Chromosomes. يصل هذا العدد إلى ٢٣ زوجًا في الإنسان، و٢٤ زوجًا في الشمبانزي، وأربعة أزواج في ذبابة الفاكهة. يأتي نصف هذا العدد من الأب (في الحيوان المنوي)، والنصف الآخر من الأم (في البويضة). تتكون الكروموزومات من دنا DNA ملفوفًا لفًا مضاعفًا، مع بروتينات مرافقة، وبه منطقة منقبضة تسمى السنترومير Centromere تقسم الكروموزوم إلى ذراعين غير متساويين. في كل من طرفي جديلتي كل كروموزوم يوجد تتابع من القواعد يسمى التيلومير Telomere وظيفته حماية الجديلة أثناء الانقسام. يتآكل التيلومير مع توالي الانقسام، وقد يعاد

تطويله عن طريق إنزيم يسمى التيلوميريز، وهو إنزيم قصير للغاية في الخلايا الجسدية، لذلك فإنه من المحتمل أن يتعرض عند الانقسام إلى أخطاء والتي قد تؤدي إلى مرض السرطان. يسمى زوج الكروموزوم "أوتوزوما" فيما عدا اثنين هما كروموزوما الجنس، يسمى واحد منهما X (ومنه اثنان في الإناث، وواحد في الذكور)، والآخر يسمى Y (ومنه نسخة واحدة في الذكور). ترقم كروموزومات الإنسان حسب طولها، بحيث يأخذ الأطول الرقم (١)، وحتى الرقم (٢٢)، وذلك بالإضافة إلى كروموزمي الجنس.

كثيرًا ما يحدث أثناء عملية الانقسام الاختزالي للخلايا أن يعاد ترتيب مقاطع كاملة من الكروموزومات، فتتحرك داخل نفس الكروموزوم، أو إلى كروموزوم آخر، والذي يتسبب في تغيرات في مورفولوجيا الكروموزوم نفسه، فيطلق على هذه الحالة اسم الشذوذ الكروموزومي Aberrations .

توجد صور عديدة للشذوذ الكروموزومي، فيعني الانقلاب Inversion أن ينكسر الكروموزوم في مكانين منه، ثم ينقلب هذا المقطع المكسور ويستقر مقلوبًا في نفس موضعه، ويعني الاقتضاب Deletion أن يفقد الكروموزوم قطعة منه، والإيلاج Insertion يعني أن يضاف إلى الكروموزوم مقطع من مصدر مجهول فيتكامل معه ويصبح بعضًا منه. أما الانتقال Translocations فهو أن يتحرك جزء من مادة الكروموزوم إلى مكان آخر، قد يكون بنفس الكروموزوم أو يكون في غيره.

يعتبر الحمض النووي الريوكسي ريبوزي أو الدنا DNA ، هو المادة الوراثية التي تحملها الكروموزومات، وفيه تخزن المعلومات الوراثية. إن المعلومات التي تخزن في الدنا كبيرة إلى درجة أن جرامًا واحدًا من الدنا يحوي معلومات تعادل ما يحمله مليون قرص مضغوط CD . والدنا هي اختصار للحمض Deoxyribonucleic Acid وهي المادة الوراثية لجميع الكائنات الحيَّة وكثير من الفيروسات Viruses ، ومن خلالها تنتقل المعلومات الوراثية من جيل إلى آخر بشفرة معينة موجودة في جزيئات الدنا

DNA Molecules. كان عالم الكيمياء الحيوية السويسري فردريك ميشر Miescher هو أول من اكتشف الدنا عام ١٨٦٩، ولكن لم يحدد البناء الحقيقي لجزيء الدنا إلا في عام ١٩٥٣ من خلال أبحاث ودراسات مشتركة بين عالمي الكيمياء الحيوية الأمريكي جيمس واتسون Watson، والبريطاني فرانسيس كريك Crick، مع عالم الطبيعة الحيوية الإنجليزي موريس ويلكنز Wilkins. وجزيء الدنا عبارة عن جديلتين، كلاهما يتألف من تتابع Sequence طويل لأربع قواعد bases تسمى نوتيدات Nucleotides. تحتوي النوتيدات على كربوهيدرات Carbohydrate Residue، ومجموعة فوسفات Phosphate Group، وقواعد الهيتروسيليك Heterocelic Base، وهي مركبات حلقية غير متجانسة. أما القواعد الأربع أو النويتدات فهي الأدنين (A) Adenine، والثايمين (T) Thymine، والجوانين (G) Guanine، والسيتوزين Cytosine (C). تتشكل سلسلة الدنا في الصورة التالية: القاعدة (A)، على جديلة تقابلها القاعدة (T) على الجديلة الرفيقة المكملة (والعكس بالعكس)، أما القاعدة (C) فتقابلها القاعدة (G) (والعكس بالعكس). والجين Gene هو امتداد من أزواج القواعد على طول جديلتي دنا الكروموزوم، ويقاس طولها بعددها.

يبلغ طول الجين البشري نحو ثلاثة آلاف من أزواج القواعد، وإن كان هناك جين يسمى دستروفين Dystrophin يصل طوله إلى ٢,٤ مليون من أزواج القواعد.

يُشفِّر الجين لبروتين معين، وذلك بأن ينسخ الجين بحامض نووي آخر، هو الحامض النووي الريبوزي أو الرنا RNA الذي يخرج من نواة الخلية إلى السيتوبلازم لينفذ التعليمات. والرنا اختصار لكلمة Ribonucleic Acid، وله وظائف عديدة في الخلية الحيَّة بالرغم من أن وظيفته الرئيسية هي تكوين البروتين.

توجد التعليمات في الدنا في صورة كودونات Codons متتابعة، والكودون عبارة عن ثلاث قواعد متتابعة تُشفِّر لحمض أميني. والبروتين سلسلة من الأحماض الأمينية، ترتيبها يناظر ترتيب الكودونات بالدنا المشفر له. وفي وجود أربع نويتدات

فقط سيتواجد ٦٤ كودونا، ثلاثة منها تحدد نهايات الجينات، والباقي يُشفِّر لأحماض أمينية. ولما كان عدد الأحماض الأمينية عشرين فقط، فقد يُشفِّر للحمض الأميني الواحد عدد من الكودونات، فحمض البرولين مثلاً يُشفِّر له أربع كودونات هي: CCT ، CCC, CCA, CCG أما حمض المثيونين فيُشفِّر له كودون واحد وهو ACG . قد تحدث بالجين طفرة نقطية Mutation Point أي تحول وراثي مفاجئ، وفي هذه الحالة تتحول قاعدة من القواعد الأربع إلى قاعدةٍ أخرى، فمثلاً تتحول القاعدةُ (A) إلى (C) أو (G) أو (T) . وقد يغير هذا التحول الحمض الأميني بالبروتين الذي يُشفِّر له الجين، وربما يتسبب في أن يصبح البروتين الناتج مختلفًا.

تشكل الجينات نسبة ضئيلة من دنا الكائنات العليا، أما بقية الدنا فيسمى سقط الدنا Junk DNA والذي لا يعرف له وظيفة واضحة حتى الآن، وإن ظهرت في السنوات القليلة الماضية نتيجةُ أبحاث تشير إلى أن لهذا السقط وظائف لم تكتشف بعد. يبلغ طول الجينوم البشري نحو ٣١٠٠ مليون قاعدة لا تشكل الجينات منه أكثر من ٣٪. قد يتخلل السقط الجينات نفسها في مناطق منها تسمى الإنترونات Introns تمييزًا لها عن الدنا المشفر الذي يسمى عندئذٍ بالإكسونات Exons. يبلغ طول جينوم نبات البصل اثنى عشر ضعف طول الجينوم البشري، وقد يرجع ذلك إلى زيادة نسبة السقط فيه. تختلف نسبة سقط الدنا اختلافًا واسعًا بين أنواع الكائنات الحيَّة. قد يرجع وجود الكم الكبير من السقط إلى الجينات التي فقدت وظيفتها وأصبحت تسمى (جينات كاذبة)، أو قد يكون مجرد مستودع من الدنا يمكن أن تنشأ منه جينات أخرى مفيدة، أو قد يكون لسقط الدنا وظيفة في عملية الإنماء. يكتسب الدنا عادة طفرات عشوائية، فإذا وقعت هذه الطفرات في مناطق من الدنا ذات وظيفة أساسية هامة تسببت في موت الكائن الحي.

بدأت ثورة الهندسة الوراثية ما بين ١٩٦٩، و١٩٧١ في معملين للبحوث الأكاديمية في الولايات المتحدة الأمريكية. كان بعض العلماء يفكرون في تطبيق تقنيات بيوكيميائية جديدة على بعض المشاكل البيولوجية. لقد أرادوا دراسة الآليات

الأساسية لعمل الجينات، مثل لماذا يشبه الأبناء آباءهم، ولماذا لا يتطابقون؟ .. ولماذا تسبب بعض الفيروسات أمراضًا خطيرة، بينما لا يسبب بعضها الآخر أية أمراض؟.. ولماذا ينمو الإنسان بهذه الدقة المتناهية من جنين بالغ الصغر إلى كائن كامل النمو، ثم يبدأ في الانحدار نحو الشيخوخة؟... بدأت التقنيات الجديدة تُطبَّق، محاولةً للإجابة عن بعض هذه الأسئلة. لقد كانت النتيجة هي الإجابة عن بعض هذه التساؤلات، وإن ظل الكثير منها بلا جواب، ولكن في النهاية أدت هذه الأبحاث وتلك الدراسات إلى ولادة فرع جديد يسمى "تكنولوجيا الهندسة الوراثية" Genetic Engineering، والذي ولد من علم البيولوجيا الجزيئية. تفترض الهندسة الوراثية أن الحياة في أساسها هي النتيجة النهائية لخصائص المواد التي تكونها، ومن الممكن تفهمها من منظور كونها جزيئات معقدة تعمل معًا مثل آلة دقيقة.

الكائنات الحيَّة

يتميَّز كوكب الأرض بالكائنات الحيَّة بأشكالها المختلفة والمتنوعة، والتي لم تكتشف حتى الآن خارج الكوكب. ويكمن سر الحياة في البروتوبلازما Protoplasm وهي المادة الحيَّة التي تتكون منها خلايا الكائنات الحيَّة. تتكون البروتوبلازما من مركبات عضوية، وتعتبر معظم المركَّبات الكيميائية الموجودة في الكائنات الحيَّة هياكل كربونية تعرف بالمركَّبات العضوية Organic Compounds، والتي تشكل المحتويات والمكوِّنات الرئيسية للخلايا والأنسجة. تظهر هذه المركَّبات في صورة كربوهايدريت Carbohydrates، ودهون Lipids، وبروتين Proteins، وأحماض نووية Nucleic Acids وفيتامينات، وهرمونات، وتشترك جميعًا في احتوائها على عنصر الكربون الذي يرتبط مع الهيدروجين والأوكسجين وعناصر أخرى، وتتصف هذه المركَّبات بالثبات وقدرتها على تكوين سلاسل طويلة محورية أو متفرعة، أما المواد الغير عضوية في الكائنات الحيَّة فهي قليلةٌ نسبيًّا، وتتمثل في الماء والأحماض البسيطة Simple Acids، والقواعد Bases، والأملاح Salts، وذلك بالإضافة إلى بعض المواد التي تحتوي على كربون وتصنف كمواد غير عضوية مثل ثاني أكسيد الكربون،

والمركَّبات التي تحتوي على مجموعات بسيطة من الكربون. تتسم الكائنات الحيَّة بقدرتها على القيام بعمليات عديدة وحيوية مثل:

التغذية Nutrition: وهي العملية التي تمكن الكائن الحي من الحصول على الطاقة اللازمة للحركة التي تعتبر أساس العمليات الحيوية الأخرى، وتشمل عملية التغذية وتناول الطعام، وهضم وامتصاص الغذاء، وإخراج الفضلات.

التنفس Respiration: وهي العملية التي يتم من خلالها إنتاج الطاقة من المركَّبات الغذائية.

القدرة على النمو والتكاثر Growth and Reproduction: وهما العمليتان الخاصتان بزيادة حجم الكائن عن طريق التغذية، وزيادة العدد عن طريق التكاثر.

الحركة Locomotion: وتعني قدرة الكائن الحي على تغيير مكان أجزائه.

القدرة على الاستجابة للمؤثرات الخارجية (Response/Reaction): وتعني رد فعل الكائن الحي نتيجة للتعرض لمؤثر خارجي أو داخلي.

تتجمع الخلايا المتماثلة لتكون الأنسجة، وتكون مجموعة الأنسجة أعضاء الكائن الحي، وتتركب الأعضاء لتكون أجهزة الكائن المختلفة. تحتوي كل خلية على نواة (ماعدا كرات الدم الحمراء)، وتكمن في هذه النواة الجينات المشفَّرة، التي تعتبر بنك المعلومات الأساسي للحياة، تحتفظ بجميع سجلات جسم الكائن الحي والتي تتوارث عبر الأجيال.

يحوي كوكب الأرض أنواعًا كثيرة من الكائنات الحيَّة منها البدائيات والتي تضم البكتريا Bacteria والطحالب Algae، والفطريات Fungi، والنباتات، والحيوانات (الفقرية واللافقرية) ومنها الرخويات والأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور والثدييات، ويتربع على قائمة الكائنات الحيَّة الإنسان، الكائن الحي المتوج على باقي كائنات كوكب الأرض حتى الآن.

الثدييات

الثدييات Mammals هي كائنات حية، تجري فيها دماء حارة، ولها عمود فقري وتُرْضع صغارها لبنًا تفرزه غددها الثديية Mammary Glands ، تملك الثدييات نظام تحكم ذاتي، يقوم بضبط واستقرار درجة حرارة الجسم دون التأثر بالتغييرات في المناخ الجوي المحيط بأجسامها. يسمح نظام التحكم للثدييات أن تتعايش في الأجواء الشديدة البرودة بعكس الفقريات Vertebrates ذات الدم البارد، والثدييات أحادية المسلك Monotrematous (وهي مرتبة دنيا من الثدييات لها مخرج أو مسلك واحد لجميع أعضائها التناسلية والبولية والهضمية). وللحفاظ على درجة حرارة جسم الثدييات ثابتة ومستقرة، فقد خُلقت بغدد دهنية Sebaceous تقوم بإفراز الدهون/الزيوت لتنتشر على أجسامها فترطبها، كما خلقت بشعر يحفظ درجة حرارة الجسم ويحميه من الحرارة، وأيضًا غدد تفرز العرق Sudoriferous لترطيب سطح الجسم وتخفض درجة حرارته. تنقسم الثدييات -الموجودة في هذه العصور- إلى قسمين مختلفين:

الأول: هو واضع البيض والثاني: هو حامل الجنين، ويأتي الإنسان المصنف كنوع من أنواع الثدييات التي تحمل جنينًا لمدة تصل في العادة إلى حوالي أربعين أسبوعًا. تنقسم الثدييات الكائنة حاليًا على ظهر الأرض إلى مجموعتين رئيستين:

- الثدييات الأولية "بروتوثيريا " Prototheria وصفاتها خليط من صفات الثدييات والزواحف، وتضع بيضًا.
- الثدييات الولودة " ثيريا" Theria، وفيها تلد الأنثى صغارًا بعد فترة حمل تختلف من حيوان لآخر ويُصف الإنسان تحت هذا القسم.

تختلف فترة الحمل في الثدييات، فهي لا تتعدى ١٣ يومًا في الحيوانات الكيسية كالأبوسوم، بينما تصل إلى ٦٢٠ يومًا في الفيل.

يأتي الإنسان على قمة الكائنات الحيَّة المعروفة لنا البشر -حتى الآن- بجسمه المتكامل، منتصبًا ومرتكزاً على هيكل عظمي Skeleton، يحمل باقي الأجهزة والأعضاء. يتشكل الهيكل العظمي من عدد كبير من العظام، مختلفة الأحجام والأشكال، كل واحدة منها تناسب العمل الذي تقوم به، وتتصل العظام بعضها مع البعض الآخر بوساطة المفاصل التي تحاط بأربطة متينة تحفظها. تحرك المفاصل العضلات الإرادية بنسب مختلفة، وترتبط العضلات بالعظام بواسطة أوتار قوية، وللعضلات خاصية الانكماش والارتخاء، وبذلك تحدث الحركة. يرتكز الهيكل العظمي على العمود الفقري Backbone (سلسلة الظهر) المكون من فقرات، الواحدة فوق الأخرى بحيث تشكل تجويفًا يسمى بالقناة الشوكية، يمتد من داخلها النخاع الشوكي الذي يمتد من أسفل الدماغ. توجد بين الفقرة والأخرى غضروفة على شكل أسطوانة تساعد على حركة العمود الفقري وتمنع الاحتكاك وتقع الجمجمة Skull على رأس العمود الفقري، وهي على شكل الصندوق العظمي، يحفظ في داخله المخ، وفي الجمجمة ثقوب عديدة تسمح بمرور الأوعية الدموية والأعصاب، منها ثقب كبير الحجم يمر فيه النخاع الشوكي.

يحاط الجسم بغلاف قوي هو الجلد، والذي يمتد إلى داخل التجاويف بصورة غشاء مخاطي. ويحتوي الجلد على أجزاء إضافية كالشعر والأظافر والغدد التي تفرز المواد الدهنية، ويحفظ الجلد باقي الأنسجة من المؤثرات الخارجية وبصورة خاصة الجراثيم. وفي الجلد توجد نهايات الأعضاء الحاسة، التي تنقل إلى المخ الإحساسات الخارجية، ويحافظ الجلد على حرارة الجسم، كما يساهم في التخلص من النفايات والسموم والإفرازات والفضلات.

يتكون جسم الإنسان من خلايا صغيرة تعد بملايين المليارات، كل خلية تتمتع بالحياة فتتغذى وتتنفس ولها وظيفة وعمل، ولها مولد وعمر وموت، لذا يتجدد معظمها بصفة مستمرة، مما يجعل الإنسان يعيش لمدة طويلة. يجتمع ما يتشابه من

الخلايا فتكون نسيجًا كالنسيج العظمي، ثم تجتمع الأجهزة المتكاملة فتكون عضوًا كالمعدة والقلب، ثم تجتمع الأعضاء التي تقوم بوظيفة واحدة فتكون جهازًا كالجهاز الهضمي والتنفسي.

تعتبر الكاربوهايدريت Carbohydrates أو النشا والسكر، المصدر الرئيسي للطاقة. يتفكك الكاربوهايدريت في الجهاز الهضمي ويأخذ في الذوبان بحيث يسهل امتصاصه واستيعابه في الجسم. يخزن الكاربوهيدريت في الكبد في صور جليكوجين Glycogen (سكر الكبد). يقوم الأنسولين الذي تفرزه غدة البنكرياس بتفكيك الكاربوهايدريت المختزن في الكبد والعضلات ليحولها إلى جلوكوز، وهو المصدر الرئيسي للطاقة. يحتوي الجسم على مصدر آخر للطاقة وهو الدهون Lipids أو الكولسترول الذي ينتشر بشكل قطرات ضئيلة عن طريق السيتوبلازم في خلايا خاصة لتخزين الدهون. والكولسترول مادة دهنية تختزنها جدران الأوعية الدموية في حالات كثيرة وقد تسبب انسداد الشرايين إذا زادت نسبتها إلى حد معين. تتكون الدهون من النيتروجين، والكربون، والهيدروجين والأكسجين.

يحتوي جسم الإنسان بصفة عامة على عدة أجهزة تعمل في الحالة السوية بتوافق وتكامل؛ لتكون منظومة الإنسان الكامل.

جهاز الدورة الدموية Circulatory System:

يدير هذا الجهازُ الدَّمَ في جميع أنحاء الجسم، ويتكون من القلب والعروق الدموية، والأوعية الشعرية الدقيقة الممتدة عبر كافة أعضاء الجسم. يُضخ الدم عبر هذا الجهاز من خلال القلب، وينقل الأوكسجين، والمواد المستهلكة، والهرمونات، وسائر العناصر والمواد الكيماوية التي يحتاج إليها الجسم. والعروق الدموية نوعان: الشرايين وهي الأوعية التي تخرج من القلب حاملة الغذاء والأكسجين إلى أنسجة الجسم وخلاياه، والأوردة وهي الأوعية الدموية التي يعود فيها الدم إلى القلب من أعضاء الجسم وأنسجته بعد أن ينقل الأكسجين إلى الخلايا ويعود بثاني أكسيد

الكربون والنفايات. هناك دورة مكملة تسمى الدورة الصغرى وهي عبارة عن الشرايين التي تخرج من الجهة اليمنى من القلب إلى الرئتين حاملة الدم الذي يحوي ثاني أكسيد الكربون ليخرج من الرئتين بالتنفس إلى الخارج ثم يعود الدم بأوردة إلى القلب مرة ثانية دمًا نظيفًا، ليضخه القلب إلى أعضاء الجسم. والقلب عضو عضلي لا إرادي، وهو عبارة عن مضخة تدفع الدم ليمر في الشرايين ويعود في الأوردة. يعادل حجم القلب حجم قبضة اليد، ويعمل بصورة دائمة على مدى الحياة وحتى الموت. يتكون القلب من أربعة أقسام: الأذين الأيسر الذي يستقبل الدم العائد من الرئتين ويدفعه إلى البطين الأيسر، الذي يدفع الدم إلى سائر أعضاء الجسم. يصل الدم العائد من الجسم إلى الأذين الأيمن ثم إلى البطين الأيمن الذي يدفعه إلى الرئتين. يقع القلب بين الرئتين داخل القفص الصدري إلى الجهة اليسرى من الصدر وتتغذى عضلات القلب من الدم الذي يصله عن طريق الشرايين التاجية الأمامية والخلفية، ويعود الدم عن طريق الأوردة التاجية. ينتج عن الضغط الذي يقوم به القلب، ارتفاع في قوة الدفع فيدفع هذا الضغط الدم ليسري في العروق الدموية، ولهذه القوة أو ضغط الدم معدل له حد أعلى هو فترة ضربة القلب، وحد أدنى وهو الضغط في الفترة ما بين الضربتين.

الجهاز الهضمي Digestive System

جملة أعضاء مترابطة (مثل المعدة - الكبد - الطحال - البنكرياس - الأمعاء ... إلخ)، تعمل على تفكيك الطعام وامتصاصه، وتحتوي على إنزيمات Enzyme أي خمائر منوعة تساعد على عملية التفكيك. يحتاج الجسم إلى طاقة لتقوم أعضاؤه بوظائفها، وإلى مواد أولية للحفاظ على حيوية الخلايا والأنسجة ولبناء أخرى بدلا من التي تشيخ وتموت. يحصل الجسم على هذه الطاقة عن طريق الغذاء الذي يمر بالجهاز الهضمي بدءًا من الفم، فالبلعوم، ثم المريء والأمعاء والأعضاء الأخرى مثل الكبد، والغدد التي تفرز مواد كيميائية تساعد على هضم الغذاء وجعله صالحًا للاستفادة منه. ففي الفم تمضغ الأسنان الطعام وتطحنه، وتبدأ عملية الهضم

باختلاط اللعاب مع الطعام ثم يذهب إلى المعدة حيث تجري العمليات الرئيسية للهضم. يمتزج الطعام في المعدة بحامض الهيدروليك، ومفعول مواد تفرزها الغدد والتي تحوي أنزيمات هضمية. يمر الخليط الجديد إلى الأمعاء فيمتزج مع إفرازات المرارة والبنكرياس، وغيرها من أنواع الأنزيمات التي تكمل عملية الهضم. يمتص الجسم المواد المهضومة فتذهب إلى الكبد حيث تزال منها المواد الضارة للجسم، ومن الكبد تذهب إلى الدورة الدموية.

الجهاز الإخراجي Excretory System

يشتمل هذا الجهاز على الكليتين، والرئتين والجلد، والكبد. يعتبر الجهاز الإخراجي المسئول عن حذف محصول الأيض أو الأستقلاب، وهو مجموع العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازما ودثورها، وبخاصة التغيرات الكيماوية في الخلايا الحيَّة التي تؤمن الطاقة اللازمة للعمليات والنشاطات الحيوية والتي بها تمثل المواد الجديدة للتعويض عن المندثر منها.

الجهاز العصبي Nervous System

يتضمن جهاز الدماغ العصبي المركزي والحبل الشوكي، مع فروعهما من الأعصاب المتشعبة في جميع أقسام الجسم، وهي مكونة من خلايا تبعث برسائل في شكل نبضات كهربائية. يتحكم الجهاز العصبي بجميع حواسنا واستعمالنا للدماغ. يسمى الجزء من جهازنا العصبي الذي لا يقع تحت السيطرة الواعية بالجهاز العصبي اللاإرادي Autonomic Nervous System، ويتحكم هذا الجزء بمعظم أعضائنا الداخلية وبأجزاء أخرى من الجسم بواسطة جهازيه الفرعيين: السمبتاوي ونظير السمبتاوي.

يعتبر الجهاز العصبي جهاز اتصال يربط بين الأعضاء المتصلة بالبيئة الخارجية كالجلد والعينين والأذنين واللسان، والمخ الذي يعتبر القيادة المركزية للإنسان، ففيه يتم اتخاذ القرارات التي تمكن الجسم من القيام بالأنشطة المختلفة وفقًا للوضع القائم، ثم يقوم الجهاز المعني من أجهزة التوصيل بنقل القرارات إلى الأعضاء المختصة

لتنفيذها. يعتبر النيورون Neuron الخلية الأساسية في الجهاز العصبي حيث يوجد في الإنسان حوالي عشرة آلاف مليون خلية عصبية. تتميز الخلية العصبية بوجود زائدة طويلة قد يصل طولها إلى ٦٠- ٩٠ سم تسمى المحور Axon، كما يوجد للخلية زوائد أخرى قصيرة تسمى بالشجيرات. تقوم هذه الزوائد بتوصيل السيارات أو النبضات الكهربائية إلى الخلية، للقيام بعمليات التحكم في أجهزة الجسم ونقل الإشارات والمعلومات.

الجهاز العضلي Muscular System

هو الآلية التي تتيح للإنسان الحركة. ويتألف هذا الجهاز من مجموعات من العضلات المندمجة مع الهيكل العظمي. إن القبض أو الشد الذي تحدثه بعض هذه المجموعات يغير من وضع العظام من حيث صلتها بعضها بالبعض الآخر، وجميع العضلات اللاإرادية فتتحكم بحركات الأعضاء الداخلية، ولا يشعر الإنسان بنشاطها وعملها.

الجهاز التناسلي Reproductive System

هو مجموعة من الأعضاء المنتجة للخلايا اللازمة لتكوين الطفل، والقيام بسائر الوظائف المتعلقة بالحمل، وتغذية الجنين، وحمايته داخل رحم المرأة وحتى ولادته.

الجهاز التنفسي Respiratory System

هو مجموعة من الأعضاء التي تأخذ الأوكسجين من الهواء المحيط وتوصله إلى كل خلية من خلايا الجسم بواسطة الرئتين، وتنقل ثاني أكسيد الكربون من الخلايا إلى الهواء. يمتد جهاز التنفس من الأنف والفم إلى الحنجرة ثم إلى القصبة الهوائية التي تتفرع إلى قسمين كبيرين، ثم إلى فروع أصغر داخل الرئتين. يدخل الهواء النقي المحتوي على كمية من الأكسجين إلى الرئتين أثناء الشهيق إلى عروق الدم الشعرية، ويخرج من الدم غاز ثاني أكسيد الكربون، ثم يخرج الهواء من الرئتين إلى الخارج أثناء عملية الزفير. يقوم الحجاب الحاجز -عضلة تفصل ما بين تجويف الصدر وتجويف البطن- بالحركة التي توسع القفص الصدري ثم يعود إلى حجمه الطبيعي مرة ثانية.

جهاز الهيكل العظمي Skeletal System

هو الإطار الداعم للجسم، ومرسى العضلات المحركة للجسم، كما أنه يحمي الأعضاء الحيوية. إن عظام هيكل الجسم وعددها ٢٠٦ عظمة متصلة معًا بحبال متينة تسمى الأربطة، والتي تبقي على اتصال المفاصل، وفي الوقت نفسه تسمح لها بالحركة.

جهاز المناعة Immunity System

إن الأساس في عمل الجهاز المناعي هو التعرف على أي مادة غريبة عن الجسم والتخلص منها سواء كانت ضارة أو مفيدة، فهو يتخلص من الميكروبات التي تسبب الأمراض، وفي نفس الوقت يعتبر العضو المنقول لإنقاذ حياة الإنسان عضو غريب عليه فيحاربه ويحاول التخلص منه. يحتوي الجهاز المناعي على النخاع العظمي، والغدة الثيموسية، والغدد الليمفاوية، والطحال، واللّوز، والعُقَد الليمفاوية، وخلايا الدم.

العلوم الرياضية والهندسية

تتشعب العلوم الرياضية Mathematics، والهندسية Geometry في مجالات شتى داخل المنظومة الكونية Cosmic System، فهي تعبر عن الإحساس بالوقت، والأبعاد الثلاثة Dimensions- 3 المألوفة لدى البشر، كما تعبر عن التركيب والتحليل الذي يقوم به العقل لكل ما يكتسبه -عن طريق حواسه- من خواص البيئة المحيطة والكون ككل. يتشكل التعبير الرياضي من خلال أرقام، ورموز، ومعادلات، وقوانين، ومشتقات، ... وخلافه. أما علوم الحساب فهي لا تتعامل مباشرة مع فيزياء الطبيعة أو الكون، ولكن تتعامل مع العالم المادي من خلال شكل مثالي كوّنه الفكر البشري، بالعقل المنطقي. تأتي المثالية من ابتعاد العلوم الرياضية والهندسية عن عدم الانتظامية Irregularity، بالرغم من أن علوم الإحصاء Statistics، وقوانين الاحتمالات Probability laws، تتعرض للاحتمال الغير متوقع، والشاذ من الأشياء المرصودة، والعشوائية Randomness، في كون ضاعت فيه الحقيقة المطلقة إلا للخالق الذي لديه علم اليقين.

يذهب البعض إلى أن العلوم الرياضية والهندسية قد ظهرت من جراء الحاجة والشدة. قد يكون صيد الحيوانات قد نبه الإنسان الأول إلى التقدير الصحيح للأبعاد، وقد يكون فيضان نهر النيل قد أجبر قدماء المصريين على تكسية حواف الترع لدرء أخطار الفيضانات العالية، مما جعلهم يفكرون ويبدعون في عمليات القياس والأبعاد الهندسية للتنبؤ بميعاد وكمية الفيضان والتحكم فيه. لم تكن أراضي مصر الفرعونية،

وأراضي بلاد بين النهرين (دجلة والفرات) غابات على المشاع، ولكنها كانت أراضي صالحة للزراعة يستلزم تقسيمها لزراعتها بمحاصيل مختلفة، فتوصل البعض إلى طرق القياس للمسافة والمساحة، فبزغت الهندسة وتطورت في هذه البقاع. قد توجد أسباب عديدة لتطور هذه العلوم، ولكن من المؤكد أن التفكير الرياضي والهندسي قد سبق أي تفكير علمي آخر، فهو أساس العلوم والعامل المشترك في فروعها.

القياس

يعتبر القياس Measurement منشأ العلوم الرياضية والهندسية، فقد وضع قدماء المصريين منذ أكثر من خمسة آلاف عام أول نظام علمي للقياس، وهو ما يسمى بالنظام الهرمي للقياس؛ والذي كان من نتائجه تشييد الأهرام بخطأ هندسي يقل عن ٠.٠٦٪ وهو ما يصعب تحقيقه هندسيًا في الوقت الحالي. اعتمد النظام الهرمي للقياس على وضع مقياس مرجعي لكل وحدة من الوحدات كالطول والحجم والكتلة والزمن، تضبط وتعاير عليه جميع المقاييس الثانوية. أمكن من خلال هذا النظام صنع حجارة الأهرام بمقاسات موحدة وذات مواصفات عالية من حيث درجة نعومة واستواء الأسطح. والقياس هو تقدير كمية ما سواء كانت طولاً أو حجمًا أو كتلة أو غير ذلك عن طريق مضاهاتها بمقياس يمثل وحدة قياس هذه الكمية.

ولضمان توحيد القياس، كان لا بد من وجود مقياس مرجعي واحد، تضبط عليه جميع المقاييس المستخدمة، وتسمى هذه العملية بالمعايرة. يتكون علم القياس Metrology من عدة عناصر وهي:

- وحدة قياس Unit معرفة تعريفًا دقيقًا.
- مقياس يحقق هذه الوحدة ويسمى المقياس المرجعي أو المقياس الأمامي.
- نظام دقيق لمضاهاة جميع المقاييس المستخدمة بهذا المقياس، وهو ما يسمى بعملية المعايرة Calibration.

كانت أول وحدة قياس عرفتها البشرية، هي الذراع الفرعوني ويبلغ طوله ٥٣ سم. أما بالنسبة لقياس الوقت، فقد صنع المصريون أول ساعة في التاريخ وهي المزولة Sundial منذ حوالي ٢٨٠٠ سنة، وهي عبارة عن قاعدة مصنوعة من حجر الشست مثبت عليها عمود في وضع رأسي وتوضع هذه القاعدة في اتجاه الشرق والغرب، ويقاس الوقت بدلالة طول ظل العمود الساقط على القاعدة واتجاهه. ومع بداية عصر النهضة في أوروبا، وضعت البلاد الأوربية وحدات للقياس، في إنجلترا حددت وحدة قياس الأطوال على أساس المسافة بين طرف أصبع وحافة الأنف للملك الإنجليزي(الفريد) وذلك حينما يكون الذراع منبسطًا، وأطلق على هذه المسافة الياردة Yard، كما حددت البوصة Inch على أنها طول ثلاث حبات من الشعير مصفوفة جنبًا إلى جنب. صنع بعد ذلك المقياس الأمامي الذي يمثل الياردة من البرونز وتم حفظه لتضبط عليه المقاييس المختلفة. وفي عام ١٧٧١ اتخذت فرنسا وحدة لقياس الأطوال سميت بالمتر، وعرفت هذه الوحدة على أنها جزء من عشرة ملايين جزء من خط الطول الواصل بين القطب الشمالي وخط الاستواء مارًا بباريس. تقرر بعد ذلك أن تكون وحدات القياس الأصغر أو الأكبر من المتر هي مضاعفات أو كسور عشرية، فمثلاً يكون السنتمتر هو ١/١٠٠ من المتر، والكيلو متر هو ١٠٠٠ متر، وهكذا. لذلك أطلق على هذا النظام من الوحدات بالنظام العشري. وفي عام ١٧٧٩، صنع في فرنسا أول متر مرجعي من البلاتين وتم حفظه لتقارن عليه أجهزة قياس الأطوال الأخرى. حددت فرنسا بعد ذلك وحدة قياس الكتلة وهي الكيلو جرام، وعرف على أنه كتلة ديسمتر Decimeter (عُشْر المتر) مكعب من الماء النقي.

اهتم الإنسان منذ القدم بتحديد الزمن، الذي ارتبط بحركة الشمس الظاهرية من الشرق إلى الغرب، وعلى هذا الأساس صنعت أول وسيلة لمعرفة الوقت وهي المزولة. ظهرت فكرة استخدام الفترة الزمنية لدوران الأرض حول نفسها كأساس لتحديد طول اليوم الشمسي وبالتالي تحديد وحدة الزمن. اتضح عدم ثبات الفترة الزمنية لدوران الأرض حول محورها بدقة عالية، حيث إنها تتغير بتغيير المواسم،

ولذلك لا يمكن الاعتماد عليها كأساس لتعريف وحدة الزمن. و في عام ١٩٥٦ اتفق دوليًا على أن تتخذ الفترة الزمنية اللازمة لدوران الأرض حول الشمس دورة كاملة أساسًا لتحديد وحدة الزمن، ونظرًا لعدم ثبات مدار الأرض بسبب تأثير تجاذب الكواكب الأخرى على الأرض أثناء دورانها، فقد اختيرت دورة الأرض عام ١٩٠٠ ليحدد على أساسها وحدة الزمن. وعلى ذلك أصبحت الثانية تعرف على أنها تساوي ٣١٥٥٦٩٢٦ من الفترة الزمنية لدوران الأرض حول الشمس دورة كاملة عام ١٩٠٠. في بدايات القرن السابع عشر، اكتشف جاليليو أن زمن ذبذبة البندول ثابت ولا يتوقف على سعة الذبذبة، فاستخدمت هذه النظرية في عمل الساعات الميكانيكية، ولكن نظرًا لعوامل الاحتكاك بين الأجزاء الميكانيكية والتي تؤثر على ثبات زمن الذبذبة، فإن الساعات البندولية تنقصها الدقة المطلوبة لتحديد الوقت. اكتشف العلماء بعد ذلك أن البلورات حينما تقع تحت تأثير جهد كهربي متردد، فإنها تتذبذب، وزمن الذبذبة يكون أكثر ثباتًا من زمن تذبذب البندول، ولكنه أيضًا يتأثر بدرجة الحرارة، ولذلك فإن درجة ثباته تظل أقل من المطلوبة (بالرغم من أن مذبذب الكوارتز يستخدم حاليًا في الساعات). بعد أن توصل العلماء لنظرية الكم، وجدوا أن الإلكترون داخل الذرة حينما يتذبذب بين مستويين من مستويات الطاقة أي بين مدارين من المدارات فإنه يطلق موجات كهرومغناطيسية ذات تردد ثابت للغاية، وعلى ذلك يمكن إيجاد متذبذب عالي الدقة يستخدم لتحقيق وحدة الزمن، وقد أطلق عليها المتذبذبات الذرية.

بدأ جاليليو المحاولة الأولى لقياس درجة الحرارة حين صنع الكشاف الحراري الذي كان يتكون من انتفاخ زجاجي صغير متصل بأنبوبة رفيعة طولها حوالي ٣٠سم، فإذا سخن هذا الانتفاخ، ثم قلب الجهاز بحيث تنغمس الأنبوبة الرفيعة في كأس به سائل؛ فإن السائل يرتفع في الأنبوبة ويكون هذا الارتفاع متناسبًا مع درجة الحرارة التي وصل إليها الانتفاخ الزجاجي. على الرغم من عدم دقة مقياس جاليليو نظرًا لأن ارتفاع السائل في الأنبوبة يتأثر باختلاف الضغط الجوي على الماء الموجود في

الكأس، إلا أن مقياس جاليليو كان بمثابة الأساس لقياس درجة الحرارة. بعد ذلك صمم جين راي جهازًا آخر عكس فيه الوضع، فجعل السائل في الانتفاخ، بينما الهواء في الأنبوبة الرفيعة، فإذا ما ارتفعت درجة حرارة السائل ارتفع في الأنبوبة، وبذلك يمكن تقدير درجة الحرارة. جاءت عدم دقة جهاز راي من تبخير الماء من أعلى الأنبوبة المفتوحة، والذي كان يؤثر على مدى ارتفاع الماء فيه. طوّر الباحثون جهاز الترمومتر باستخدام الكحول النقي بدلاً من الماء، وسدوا فوهة الأنبوبة الرفيعة، وأخذوا يسجلون الدرجات عليه بطبقة من الطلاء.

كانت المرحلة الهامة حين بدأ صانع الأجهزة الألماني/ البولندي جابريل فارنهيت Fahrenheit في بدايات القرن الثامن عشر، في صنع أول ترمومتر Thermometer زئبقي، كما وضع المقياس الذي يحمل اسمه. اتخذ فارنهيت نقطتين ثابتتين للتدريج إحداهما هي درجة تجمد مزيج من الجليد والماء والملح سميت بنقطة الصفر، والأخرى هي درجة حرارة جسم إنسانٍ سليمٍ صحيحٍ، وحددها اعتباطًا بدرجة ٩٦ف (و الرقم الصحيح ٩٨,٤ ف أي ٣٧° م – درجة مئوية). وفي عام ١٧٤١ اقترح عالم الفلك السويدي أندريس سلسيوس Celsius أن درجة حرارة انصهار الجليد صفر، ودرجة غليان الماء ١٠٠ درجة، وتقسم المسافة بينهما إلى مائة قسم متساو، فكان هذا هو بداية المقياس المئوي والمعروف باسم مقياس سلسيوس. ظلّ العلماء يبحثون عن مقياس مطلق لدرجات الحرارة يعتمد على ثوابتٍ فيزيائية وليس على الاقتراح مثل مقياس سلسيوس، وبعد أن أثبت العالم الفرنسي تشارلز Charles في عام ١٨٠٢، بقانونه المعروف باسمه، أن الغازات حين توضع تحت ضغط ثابت تتمدد بالحرارة، ابتدأ التفكير يتجه إلى استخدام قانون تمدد الغازات بالحرارة كوسيلة لعمل مقياس مطلق لدرجات الحرارة، والتي يمكن التعبير عنها بالمعادلة.

$$T = a * P * V$$

حيث "P" هو ضغط الغاز، "V" هو الحجم، "T" هي درجة الحرارة، "a" هي ثابت التناسب.

نظرًا لأن هذه المعادلة تكون صحيحة وتطبق فقط في حالة الغازات المثالية، والتي يمكن أن تصل إلى الحالة المثالية عندما يصل ضغطها إلى الصفر، فإذا فرض أن الفرق بين درجتي انصهار الجليد وغليان الماء هو مائة درجة، يمكن تحديد قيمة الثابت "a" ومن ثم يمكن استخدام المعادلة السابقة؛ لتعيين درجات الحرارة. وبواسطة هذه الطريقة حددت درجة حرارة انصهار الجليد على هذا المقياس بأنها تساوي ٢٧٣.١٥ درجة مطلقة. وفي عام ١٨٤٨ تمكن كلفن Kelvin من إثبات كفاءة آلة تعمل بين درجتي حرارة مختلفتين، تتوقف على الفرق بين هاتين الدرجتين. فإذا كانت الآلة تعمل بين درجة غليان الماء ودرجة تجمد الجليد، وأمكن تحديد كفاءة الآلة، فيمكن بذلك تعيين درجات الحرارة. يطلق على المقياس الأخير اسم المقياس الثرموديناميكي Thermodynamic لدرجات الحرارة.

مع ازدياد المبادلات التجارية والصناعية بين الدول بدأت الحاجة إلى إيجاد نظام موحد لوحدات القياس. ولما كان النظام المتري العشري للوحدات يتميز بدقته وسهولة استخدامه، فقد اعترفت به معظم الدول. وفي عام ١٩٦٠ قرر المؤتمر العام الحادي عشر للموازين والمقاييس تسمية نظام القياس العملي بالمسمى: «النظام الدولي للوحدات» International System of Units، واختصاره SI كما وافق المؤتمر على الوحدات المشتقة منه والملحقة به وأسماء المضاعفات والكسور العشرية. تمتاز الوحدات السبع الأساسية -المبينة في الجدول التالي- بأنها مستقلة عن بعضها من حيث الأبعاد.

وحدة القياس	الوحدة	
الأطوال	المتر	Meter
الكتلة	الكيلو جرام	Kilogram
الزمن	الثانية	Second
درجة الحرارة	الكلفن	Kelvin
شدة التيار	الأمبير	Ampere
قوة الإضاءة	الشمعة / القنديلة	Candle
كمية المادة / جزيء جرامي	المول	Mol

أما النوع الثاني: من الوحدات فهي الوحدات المشتقة، وهي الوحدات التي تتكون من ضرب أو قسمة أكثر من وحدة من الوحدات الأساسية السبع طبقًا للعلاقة الجبرية التي تربط الكميات المناظرة لهذه الوحدات، مثل المساحة (متر مربع)، والحجم (متر مكعب)، والسرعة (متر لكل ثانية)، والكثافة (كيلو جرام لكل متر مكعب)، شدة المجال الكهربي (أمبير لكل متر)، شدة الإضاءة (قنديلة لكل متر مربع)، ... إلى آخره. والنوع الثالث من الوحدات فهي الوحدات الملحقة وهي وحدتي الزاوية المستوية والزاوية المجسمة. والأنواع الثلاثة من الوحدات تكون نظامًا يسمى نظام الوحدات المترابط Coherent System of Units، ويعني نظامًا من الوحدات التي ترتبط فيما بينها بعمليات الضرب والقسمة فقط دون أي معاملات عددية.

الرياضيات Mathematics

ربما كان العدد هو أول صور الكلام بالنسبة للإنسان، ومن المؤكد أن ابتدأ الإنسان العد بالأصابع، ومن هنا نشأ النظام العشري، استخدم الإنسان أجزاء جسمه -مثل الأيدي والذراع- كمعيار للقياس، ومن هنا جاءت مقاييس الذراع

والقدم، واليد التي تشير إلى (الشبر)، والإبهام للبوصة، ثم أضيفت الحصوات إلى الأصابع لتعين على عملية العد في حالة زيادة العدد.

أجمع المؤرخون أن العلوم الرياضية والهندسية من وضع المصريين. لقد كان معظم علماء مصر من الكهنة الذين يتعبدون في معابدهم البعيدة عن صخب الحياة وضجيجها؛ فتفتق تفكيرهم في أوقات الصفاء الذهني عن كيفية التعبير عن العدد. كتب (ول ديورانت) في موسوعة «قصة الحضارة» عن التعبير الحسابي في مصر الفرعونية: (كانت الأرقام متعبة، فقد كان رقم ١ يمثل بشرطة، ورقم ٢ بشرطتين، و٣ بثلاث شرط، ... ، ورقم ٩ بتسع شرط، وتُمثَّل العشرة بعلامة خاصة، والعشرون باثنتين من هذه العلامات، والثلاثون بثلاث منها، ...، والمائة بعلامة أخرى جديدة، والمائتين بعلامتين، ...، والتسعمائة كفا بكف فوق رأس كأنه يعبر عن دهشته من وجود مثل هذا العدد الكبير. وكاد المصريون أن يصلوا إلى الطريقة العشرية في الأعداد، وإن لم يعرفوا الصفر أو يصلوا قط إلى فكرة التعبير عن جميع الأعداد بعشرة أرقام، بل كانوا يعبرون عن رقم ٩٩٩ مثلاً بسبع وعشرين علامة. وكانوا يعرفون الكسور الاعتيادية، ولكن بسط هذه الكسور كان رقم ١ على الدوام، فكانوا إذا أرادوا كتابة $\frac{3}{4}$ كتبوه $\frac{1}{2} + \frac{1}{4}$. وجدول الضرب والقسمة قديم قدم الأهرام، وأقدم رسالة في الرياضة عرفت في التاريخ هي بردية أحمس التي يرجع تاريخها إلى ما بين عام الألفين وألف وسبعمائة قبل الميلاد، ولكن هذه البردية نفسها تشير إلى كتابات رياضية أقدم منها بخمسمائة عام وهي تحسب سعة مخزن للغلال أو مساحة حقل وتضرب لهذا الحساب أمثلة، ثم تنتقل من هذا إلى معادلات جبرية من الدرجة الأولى).

كانت رياضيات الحضارة البابلية تستند إلى تقسيم الدائرة إلى ٣٦٠ درجة، وتقسيم السنة إلى ٣٦٠ يومًا، وعلى هذا الأساس وضع البابليُّون نظامًا ستينيًّا للعد والحساب بالسنين. كان أهل بابل لا يستخدمون في العد إلا ثلاثة أرقام، منها علامة للواحد تتكرر حتى تكون تسع علامات متماثلة للرقم ٩، وعلامة مختلفة للرقم ١٠

تتكرر حتى تصل إلى ٥٠ ، وعلامة للرقم ١٠٠ ، كان من السهل لهم عملية العد والحساب بعد أن وضعوا جداول لا تقتصر على ضرب الأعداد الصحيحة وقسمتها ، بل تشمل أيضًا أنصاف الأعداد الرئيسية وأثلاثها ومربعاتِها ومكعباتِها.

كان للهنود السبق عن العرب والإغريق في الرياضيات ، فقد عرفوا النظام العشري والصفر اللذيْن تم نقلهما إلى الغرب بواسطة العلماء العرب ، حتى الأرقام العربية هي في الحقيقة هندية الأصل ، ظهر في هذا المجال آريابهاتا ، وبراها جوبتا ، وبهاسكارا الذي ولد سنة ١١٤ بعد الميلاد ، فابتكروا العلامة الجذرية والرموز الجبرية ، كما ابتكروا فكرة الكمية السالبة والتي قامت عليها فكرة الجبر ، كما صاغوا القواعد التي يمكن بها إيجاد التباديل والتوافيق ، وحسبوا الجذر التربيعي للعدد "٢" ، وقاموا بحل معادلات من الدرجة الثانية في القرن الثامن الميلادي.

جاء تطور آخر وهام للعلوم الرياضية عن طريق الفلاسفة والعلماء الإغريق ، لم تكن العلوم الرياضية والهندسية تدرس لفائدتها العملية بقدر ما كانت تدرس لفائدتها الذهنية النظرية ، وما فيها من استدلال منطقي ، وتفكير متتابع ومترتب. لقد أثبت المؤرخون أن العلوم الرياضية قد تم اقتباسها ونقلها من حضارتي مصر الفرعونية والبابلية ، بدأ علم الحساب في الحضارة الإغريقية من خلال أعمال طاليس Thales في النصف الأول من القرن السادس قبل الميلاد ، ثم أعقبه فيثاغورث Pythagoras عام ٥٣٠ ق.م ، ثم إقليدس Euclid في عام ٣٠٠ ق. م والذي ابتكر مفهوم المعالجة المنطقية من العرض التتابعي للبديهيات الأولية. جاء العصر الذهبي في عصر أرشميدس Archimedes ، وأبولوينوس في القرن الثالث قبل الميلاد.

تُميِّز اللغةُ الإنجليزية -بخلاف اللغة العربية- بين فرع علم الرياضة الذي يتعامل مع الأرقام Arithmetic ، والفرع الآخر Algorithm الذي يختص بتشكيل طرق إيجاد نتائج العمليات الحسابية من خلال هذه العمليات مثل الجمع والطرح ، والضرب والقسمة اللذين يعتبران من مشتقات الجمع والطرح. بدأ الإنسان التعامل مع الأرقام

بالعلامات، فكان يضع علامة على الحجر، أو على الرمال، أو على الطمي، لتسجيل رقم "١"، وعلامتين لتسجيل رقم "٢"، ... وهكذا. اختلفت العلامة في شكلها وطولها أو حجمها، من خط مستقيم «شرطة»، إلى مربع أو دائرة أو خلافه، ومع امتداد جذور الحضارة، وتطور الفكر العلمي، بدأ الإنسان في وضع منهج، أو منظومة عامة لوصف الكميات والأشكال، حتى تَوصَّل أخيرًا إلى اختراع لغة الأرقام، ثم بدأ بعد ذلك تعلُّم العمليات الحسابية البسيطة؛ مثل حاصل جمع اثنين وثلاثة، مستخدمًا أصابع يديه، أو حتى الاستعانة بأصابع رجليه. بعد ذلك ظهرت الجداول والعمليات الحسابية في الحضارتين المصرية والبابلية، ثم جاء اهتمام الإغريق بعد ذلك بأبحاثهم في نظريات الأرقام. اشتقت جميع النظم العددية الحديثة من الأصل الهندي والعربي، ولكن يرجع نشر هذه النظم إلى العرب الذين احتلوا أجزاء من القارة الأوروبية عن طريق الفتح الإسلامي لبلاد الأندلس، والعمليات التجارية التي كانت تتم بين العرب والأوربيين في جميع شواطئ البحر المتوسط. ترجم محمد ابن الحسن الخوارزمي كتب الحساب الهندية وتعامل مع الأرقام في القرن التاسع الميلادي. يعتبر كارل جاوس Gauss، في بداية القرن التاسع عشر هو أول من عمل في نظرية الأرقام Theory of Numbers في العصر الحديث.

تتكون العمليات الحسابية في علم الحساب، من خلال ثلاثة أزواج من العمليات أي العملية وعكسها، فعكس عملية الجمع Addition هي عملية الطرح Substraction، وعكس عملية الضرب Multiplication هي عملية القسمة Division، وعكس عملية إيجاد الجذور Evolution/ Root هي عملية رفع الرقم إلى الأس الأعلى Involution. يذهب الرياضيون إلى أن أساس العلميات الحسابية هو عمليتان فقط، وهما الجمع والطرح، فعملية الضرب هي عملية جمع متكرر، وعملية القسمة هي عملية طرح متكرر. أما عمليتي الجذور ورفع الأس فهما عمليتان مشتقتان من الضرب والقسمة، وبالتالي يمكن إرجاعهما إلى الجمع والطرح.

الهندسة Geometry

اشتقت كلمة الهندسة في اللغة الإنجليزية من كلمتين معناهما قياس الأرض: Geo تدل على الأرض، Metry على القياس، أما من وجهة النظر التاريخية والعملية فتعني الهندسة دراسة خواص الفراغ والفضاء الفيزيائي، شاملاً الأرض وكذلك الحسابات الخاصة بتشكيلات الفضاء المختلفة، ووصفها، ورسمها، وتعيين أبعدها بأسلوب الأرقام أو بالمقارنة. ينقسم علم الهندسة إلى عدة أفرع، يختص الأول بما أنجزوه علماء الهندسة القدامى بمحاولتهم تشكيل المفهوم العام والشامل للعلوم الهندسية والرياضية، وكذلك دراسة خواص التشكيل العام للفضاء. تسمى هذه الدراسات بالهندسة الإقليديسية Euclidean Geometry والتي تنسب إلى العالم الإغريقي إقليدس. تنقسم الهندسة الإقليديسية -بشكل عام- إلى الهندسة المستوية Plane Geometry والتي تتعلق بالأسطح المستوية، والهندسة المجسمة Solid Geometry، والتي تتعلق بالأشكال ذات الثلاثة أبعاد 3-Dimensions مثل المكعب، والكرة، و... إلى آخره. ولكن، وخلال القرون القليلة الماضية خرجت الهندسة من العباءة الإقليديسية إلى الهندسة الغير إقليديسية Non-Euclidean Geometry، وذلك بتعدد الإحداثيات، وإدخال أينشتين بعدًا رابعًا وهو الزمن على الإحداثيات التقليدية.

إذا كان في الإمكان التمييز بين الأفرع المختلفة لعلم الرياضيات والهندسة، إلا أنه أيضًا يمكن أن تتداخل هذه الأفرع، بغرض الوصف الشامل والدقيق للشيء موضوع البحث والدراسة، إن الخط المستقيم، يمكن التعبير عنه برقم يمثل طوله، أو بواسطة فرع الجبر من خلال معادلة من الدرجة الأولى، وأيضًا يمكن التعبير عنه هندسيًّا كاتجاه في الفراغ، وعلى ذلك، فبالرغم من أن فرع الهندسة يختص بتصور الحيز الفضائي Spatial Concept، إلا أنه يمكن أيضًا التعامل مع المصطلحات الهندسية للأشياء من المنظور الغير حيزي. لقد تطورت تقنيات أفرع علم الرياضة لخدمة فرع هام وهو الهندسة، فأصبحت الهندسة قاسمًا مشتركًا لجميع العلوم خاصة الفيزياء الشاملة لكل أشكال ومكونات الكون. أصبح في الإمكان التعبير هندسيًّا عن أي

حركة في الفراغ باستخدام الهندسة الجبرية Algebraic Geometry. إذا كان من السهل التعبير عن الخطوط المستقيمة، فإن الهندسية الجبرية قد تتصاعب في حالة التعبير عن المنحنى والأسطح الغير مستوية. يعتبر معدل تغيير المسار على الدائرة مقدارًا ثابتًا، أما في حالة القِطْع الناقص Ellipse، فإن معدل تغيير المسار لا يعتبر ثابتًا؛ لأن معدل التغيير يتزايد عند الطرفين الضيقين عنه في باقي المسار، وعلى ذلك تأخذ المعادلة الرياضية الخاصة بالتعبير عن مسار القِطْع الناقص صورة أكثر تعقيدًا من الخطوط المستقيمة.

نبعت الهندسة من المشاكل العملية التي واجهت البشر في أول عهودهم بالحضارات. لم ينقطع المسَّاحون في مصر الفرعونية من قياس الأراضي التي كانوا يزرعونها بالأنواع المختلفة من الحبوب والخضراوات، أو الأراضي التي محا الفيضان معالم حدودها. اهتم المصري القديم بالعلوم الهندسية لبناء المعابد والهياكل والأهرامات، والقنوات والجسور التي كانت تقام على فروع النيل. وكان المصري -في أول عهده بهذه العلوم- حائرًا أمام كيفية تحديد المساحة أو الحجم للأشكال الهندسية المختلفة. جاهد المصري طويلاً؛ ليعرف خواص المثلث قائم الزاوية، وخواص الدائرة، وتوصَّل منذ أكثر من أربعة آلاف عام أن ثابت الدائرة "ط" يساوي ٣,١٦، بينما أثبت علماء العصر الحديث أن صحة هذا الرقم هو ٣,١٤١٦، أي لم يتجاوز خطأ العالم المصري القديم النصف في المائة، كان المصريون حول نهر النيل، والبابليون في بلاد بين النهرين -دجلة والفرات- هم أول من ولوجوا إلى علم الهندسة وفروعها في الفترة ما بين الألف الرابع، والقرن الثالث قبل الميلاد. شهد المؤرخ الإغريقي هيرودوت Herodotus على أن المسَّاح المصري كان يقيس بدقة مساحات الأرض الزراعية التي غمرها أو محاها الفيضان لتعويضه بقطعة أرض أخرى لها نفس المساحة، كان المهندس أيضًا يقوم بحساب أبعاد الأحجار وأحجامها وعددها من أجل بناء الأهرامات أو تكسية ضفاف نهر النيل وفروعه. توصل علماء الحضارتين المصرية والبابلية إلى معرفة المساحة والحجم والمحيط بواسطة المحاولة والخطأ Trial and Error،

مما استغرق منهم وقتًا طويلاً للوصول إلى المعاملات والثوابت الخاصة بهذه الحسابات. لقد سجلت البرديات القديمة أن أحمس قد كتب أن مساحة المثلث القائم الزاوية يساوي حاصل ضرب القاعدة في الارتفاع، لقد كانت المعاملات والثوابت الخاصة بالأشكال الهندسية كافية ليشيِّد أصحاب هاتين الحضارتين روائع القصور وضخامة المعابد والهياكل، تاركين لأحفادهم معجزة إنشائية وهي بناء الأهرامات.

استخدم الإغريق الأحرف والنقاط لتمثيل الأعداد، كما استخدموا الحصى Calculi في أعمالهم الحسابية، ومنها اشتقت كلمة Calculus بمعنى «حساب». ومع تطور الحضارة الإغريقية اقتبس الرياضيون/الفلاسفة الإغريق مبادئ علم الهندسة من الحضارتين المصرية والبابلية، وبالرغم من أن اهتمام الإغريق كان ينصب على الطبيعة والمظاهر الطبيعية أكثر من اهتمامهم بالزراعة والإنشاءات، لذا كان الفلاسفة هم المهتمين بالعلوم الرياضية والهندسية التي امتزجت بالفلسفة من خلال المنطق والاستنتاج. ومن هذه الأرضية الفلسفية، كانوا الفلاسفة الإغريق مقتنعين بأن الكون وما فيه من مظاهر طبيعية ما هو إلا تصميم هندسي/ رياضي رائع، أو كما أكد الفيلسوف الإغريقي أفلاطون Plato على ذلك بقوله: «لقد خلق الرب الكون السرمدي اللانهائي، منسجمًا مع المبادئ والقوانين الهندسية». كان العصر الذهبي للهندسة الإغريقية متواكبًا مع ازدهار حضارتها في الفترة ما بين عام ٦٠٠، وعام ٢٠٠ قبل الميلاد. كان الفلاسفة الإغريق يرون أن الحقائق هي فقط في تصميم الكون، وكشفها يعتمد على العقل والحجة والتفسير، وكانت طريقتهم للكشف والتفسير تبدأ بطرح بعض الحقائق البينة الجلية، وعن طريق العقل يتم استنتاج المزيد منها. اعتقد هؤلاء الفلاسفة بأن الاستنتاج المنطقي يؤدي إلى نتائج، وأن هذه النتائج تكون صحيحة، في حالة -فقط- وجود فروض ومقدمات منطقية صحيحة، ومن بعض أمثلة الوقائع الحقيقية في الفلسفة/ الهندسة الإغريقية: يمتد الخط المستقيم إلى ما لا نهاية في كلا الاتجاهين، وأن جميع الزوايا القائمة متساوية، وأن الأشكال المتفقة في الأبعاد هي أشكال متطابقة، ... إلى آخره. تسمى بعض من هذه الفروض التي افترضها

الإغريق بالحقائق أو البديهيات Axioms.

من خلال هذه البديهيات قام إقليدس -حوالي عام ٣٠٠ ق.م- باستنتاج ما يقرب من خمسمائة نظرية من هذه المبادئ. قام أرشميدس، وأبولونيوس في نفس العصر باستنتاج عدة مئات أخرى من هذه البديهيات التي أصبحت أساس النظريات الهندسية فيما بعد.

بعد أن غزا الإسكندر الأكبر الساحل الشمالي لمصر، وهجرة كثير من اليونانين إليها، انتقل مركز الثقافة الإغريقية في نهاية القرن الرابع قبل الميلاد من أثينا إلى الإسكندرية، تأثر اليونانيون المهاجرون بعلوم الحضارتين الفرعونية والبابلية، وأصبح علماء الرياضة اليونانيين أكثر تفتحًا نحو العلوم الهندسية العملية، واهتموا بالبحث في النتائج الكمية، وفي تحديد المساحات والحجوم. طوَّر الرياضي السكندري هيباركيوس Hiparchus في القرن الثاني قبل الميلاد علم حساب المثلثات Trigonometry، وظهر في القرن الثاني بعد الميلاد رياضي سكندري آخر وهو بطوليمي السكندري Ptolemy الذي كان له تأثيرٌ ملموسٌ في تطوير العلوم الرياضية والهندسية، وخاصة في حساب زوايا المثلثات؛ مرتكزًا على خبرة المصريين في هذا المجال، وعلى هندسة إقليدس ونظرياته. بالرغم من العطاء الفكري للعرب والهنود في علوم الرياضيات في القرون التالية، إلا أنهم لم يتطرقوا بعمق في علم الهندسة.

واكب تفكك الإمبراطورية الإسلامية بداية استيقاظ أوروبا، فانتقلت العلوم الرياضية إليها عن طريق إسبانيا وصقلية، وظهرت أسماء علماء مثل: أديلار أوف باث، وأوجينو دي باليرمو، وفرنسوا فييت، وغيرهم ممن ساهموا في نقل التراث الإسلامي إلى أوروبا. حدث تطورٌ في علم الهندسة في عصر النهضة الأوروبية Renaissance في القرن الرابع عشر الميلادي، وذلك من خلال ظهور فرع جديد يسمى بالهندسة الإسقاطية Projective Geometry. بدأت الانطلاقة من أعمال رسَّامي هذا العصر الذين أخذوا يرسمون الأشياء كما يرونها، بعكس رسومات العصور

الوسطى الرمزية، والتي كانت الأفكار الرئيسية فيها عادة ما تتناول القصص الدينية والأساطير العقائدية. لما كانت الطبيعة مجسمة في الأبعاد الثلاث، بينما الرسم السطحي دائمًا يأخذ الشكل المستوي، لذلك أصبح التعبير الواقعي بالرسم غير ذي جدوى. تمكن الرسامون من التغلب على هذه المعضلة عن طريق الحقائق الأساسية للرؤية. إنَّ الإنسان يرى المنظر من خلال أشعَّة الضوء الصادرة من النقط المختلفة للمنظر، ويسمى تجميع أشعة الضوء بعملية الإسقاط Projection، إذا وضع حاجز شفاف مثل الزجاج بين النظر والعين، فإن شعاع الضوء يتقاطع مع هذا الحاجز في نقطة أو علامة، ويمكن تسمية هذا الحاجز -هندسيًّا- بالمقطع Section. اكتشف الرسَّامون أن هذا المقطع يخلق نفس إحساس الرؤية، كما ترى العين المنظر. وجد الرسَّامون أيضًا أنه يمكن تعويض عدم وجود البعد الثالث في الرسم المسطح بإضافة بعض الظلال على رسوماتهم. تسائل الرسَّامون أولاً، ثم تبعهم الرياضيون عن الخواص الهندسية التي تجعل الرسم الإسقاطي له نفس تأثير الشكل الطبيعي على العين. أدت محاولة الوصول إلى إجابة هذا السؤال إلى علم الهندسة الإسقاطية.

جاء عصر العلم في أوروبا بعدد من الرياضيين أمثال ليونارد أويلر Euler، وجاك برنوللي Bernoulli، وجوزيف لاجرانج Lagrange، وبيار لابلاس Laplace، والألماني كارل جاوس Gauss، والفرنسي باسكال Pascal الذي اخترع أول آلة حاسبة. حوَّل التطورُ في العلوم الفيزيائية والفلكية أنظار الرياضيين بعيدًا عن الهندسة الإسقاطية. لقد أدى اكتشاف نيوكولاس كوبرنيكس Copernicus عن دوران النجوم حول الشمس، إلى توجه الرياضيين نحو دراسة هندسة المقاطع المخروطية، حيث إن حركة الكواكب والأجسام الفضائية الأخرى تأخذ الشكل المنحني لمساراتها.

أيضًا دفع اكتشاف العلماء للتليسكوب Telescope، والميكروسكوب Microscope، علماء الرياضة والهندسة إلى دراسة مسارات الأشعة المنعكسة والمنكسرة بواسطة العدسات والمرايا. كان من نتيجة التطور في تصنيع المقذوفات والصواريخ في مراحله الأولى، أنْ قام علماء الهندسة بدراسة مسار المقذوف في

الفضاء. تبين للرياضيين الفرنسيين أمثال ديكارت Descartes، وفيرميه Fermat أنَّ الطرق الهندسية الإقليديسية لا تستطيع التعامل مع الخرائط الكنتورية Contour Maps ذات خطوط المناسيب المختلفة، وأنه لا بد للجوء إلى طرق أخرى للهندسة غير الإقليديسية.

أُقترحت اللوغاريتمات Logarithm في بادئ الأمر كوسيلة مساعدة في الحسابات، خاصة الحسابات الفلكية؛ لكونها طريقة تتحول فيها الأرقام الكبيرة -مثل المسافات الهائلة بين المجرات والنجوم- إلى أرقام سهلة وبسيطة. إنَّ لوغاريتم رقم المليون (10^6) مثلاً هو $\text{Log } 10^6$، ويساوي الرقم الأسي (6). يرجع اكتشاف اللوغاريتمات إلى الرياضي الإسكتلندي جون نابير Napier، الذي نشر أول جداول لوغاريتمية عام ١٦١٤. وبحلول عام ١٦٣٠ كان الرياضي الإنجليزي هنري برجس Briggs، وعلماء آخرون قد طوروا في نظرية اللوغاريتمات وقواعدها.

قام كل من ديكارت وفيرميه بتطوير علم الجبر في النصف الأول من القرن السابع عشر، وحلت الهندسة التحليلية Analytic Geometry محل هندسة المنحنيات، كما أُستخدمت المعادلات الرياضية في تمثيل الأشكال المختلفة للمنحنيات على الإحداثيين الرأسي والأفقي. أصبح في الإمكان التعبير عن أي نقطة على السطح المستوي من خلال مسقطيها على هذين الإحداثيين، ثم توصل هذه النقطة لرسم المنحنى؛ ليعبر عن الشكل المراد تمثيله. في هذا القرن أيضًا، كان لكل من إسحاق نيوتن Newton، وجوتفريد ليبنز Leibniz السبق في الوصول إلى حساب التفاضل Differential Calculus، وبذلك أصبح من السهل استكشاف خواص المنحنيات والسطوح، وظهر بذلك فرع جديد في الهندسة يسمى بالهندسة التفاضلية Differential Geometry. استخدمت الهندسة التفاضلية في حساب ميل المنحنى عند أي نقطة عليه، كما استخدمت في علم المساحة التطبيقية Geodesy لتعيين أفضل أقصر مسافة بين نقطتين على السطح الغير مستوي. يختص فرع التفاضل والتكامل Differentiation and Integration أيضًا بحساب أقصى قيمة Maximum Value وأقل

قيمـة Minimum Value للدالـة، وكـذلك حسـاب المسـاحات الواقعـة داخـل حـدود المنحنيـات الـتي تمثـل مـن خـلال دالـة Function رياضيـة؛ اسـتكمالاً لتطـوير علـم الهندسة، قام جسبارد مونج Monge في القرن الثامن عشر باكتشاف فرع جديد في الهندسة وهو الهندسة الوصفية.

تميز القرن التاسع عشر بالتقدم السريع في العلوم الرياضية وتطبيقاتها في المجالات الأخـرى كالميكانيكـا والفلـك. ابتكـر جـاوس الأعـداد المركبـة، ووليـام هـاميلتون Hamilton الرباعيـات، ونـشر الرياضـي جراسمـان Grassmann كتابًا في أنـواع الجـبر. ابتكـر العـالم الإنجليـزي كـايلاي Cayley في عـام ١٨٦٠ المصفوفات Matrices، كـما ظهر الجبر البوولي (نسبة إلى عالم الرياضيات الإنجليزي جـورج بـوول Boole) وفيـه طبق الجبر على منظومة المصفوفات. في عام ١٨٨١ ظهرت أشكال فن Venn لتوضيح الجبر البوولي، كما أكمل كل من كارنو Carnot، وبونسيليه Poncelet أبحاث العصور السابقة في الهندسية الإسقاطية. ظهر أيضًا في هذا العصر مفهوم الثنائية Duality الـذي ساهم في تطور الرياضيات بفروعها المختلفة، وحول عام ١٨٨٠ ابتكر جيبس Gibbs تحليل المتجهات Vector Analysis، كـما ظهـرت بعـض الأبحـاث والدراسـات الخاصـة بالنظـام العـددي ونظـام الأعـداد الحقيقيـة. بحـث كـانتور Cantor في الاسـتمرار الخطـي واللانهائيات؛ فتوصل إلى ما يسمى بما وراء النهايات، كما اخترع بيرس Pierce جبر التنسيق الخطي.

انطلـق مجـال التطبيـق العملـي للرياضـيات في القـرن العـشرين، وزاد اسـتخدام التعميم والتجريد والمنطق الشكلي في العلوم الرياضية. بدأت النظريات الإحصائية والاحتمالية تأخذ دورها في جميع فروع العلم الأخرى. تناول علماء الرياضيات موضـوعات كـثيرة ومتنوعـة مثـل نظريـة المعلوماتيـة Information Theory، ونظريـة الألعـاب Theory of Games. ابتكر العلماء أثناء الحرب العالمية الثانية نظرية بحوث العمليـات Operation Research، واسـتخدمت -طرقًـا مثـل البرمجـة الخطيـة Linear Programming - في إدارة عمليـات نقـل المهمـات والأسـلحة وتخزينهـا. انتقـل تطبيـق

بحوث العمليات بعد الحرب إلى المصانع لزيادة الإنتاج والدقة في العمل دون زيادة في التكاليف، أي لرفع مستوى الكفاية الإنتاجية. تطورت الأبحاث في مجال بحوث العمليات لتشمل البرمجة الغير خطية، وطرق المعظمة Optimization Techniques، ونظرية الصفوف والانتظار، وأخيرًا المساهمة في تطوير الحاسبات الإليكترونية.

الهندسة الوصفية Descriptive Geometry

تعني الهندسة الوصفية تمثيل الأشكال في الفراغ بواسطة الإسقاط، فمن المعروف أنَّ مكونات الأجسام تشغل حيزًا في الفراغ، وهذه الأجسام يمكن تمثيلها أي رسمها على مستويات الإسقاط، فتعطي مجموعة من الحقائق التي تدخل في تكوين مقاييس الجسم.

تتلخص الهندسة الوصفية في الأساسيات الثلاث التالية:

- الإسقاط المركزي، خاصةً الرسم المنظوري Perspective.
- القياس المحوري Axonometry، والإسقاط المتوازي.
- الإسقاط المتعامد Orthographic، أو إسقاط مونج.

وجد في بعض المخطوطات الرومانية القديمة، رسومات إسقاطية بدائية لتصميمات معمارية. لم يتطور هذا الفرع من الهندسة إلا في القرن الخامس عشر الميلادي على أيدي بعض الفنانين الإيطاليين مثل: بولو يوشيلو Uccello، والبرتي Alberti، فرانشيسكا Francesca، والألماني البريخت ديرر Durer. ظهر أول مرجع للرسومات المنظورية عام ١٦٠٠ بواسطة الرياضي الإيطالي فيدريكو كوماندينو Commandino، كما نُشر في عام ١٧٩٥ أول كتاب عن الهندسة الوصفية، والإسقاط المتعامد بواسطة العالم الرياضي والفيزيائي جاسبار مونج Monge. حدث تطور آخر في هذا الفرع بواسطة الرياضي الألماني فلهيلم فيدلر Fiedler.

من خلال الهندسة الوصفية يمكن تمثيل أي جسم بإسقاطه من نقطة ثابتة (C)

على مستوى يسمى بمستوى الإسقاط Plane of Projection. بفرض أن النقطة (A) موجودة على جسم أو شكل معين في الفراغ، والمراد إسقاط هذه النقطة على مستوى الإسقاط. تتم عملية الإسقاط بتوصيل النقطة الثابتة (C) بالنقطة المراد إسقاطها (A)، بواسطة خط مستقيم يتلاقى مع مستوى الإسقاط في النقطة (A1)، والتي تسمى بإسقاط النقطة (A). بتكرار العملية السابقة على أكثر من نقطة على الشكل أو الجسم المراد إسقاطه، يمكن الحصول على هذا الشكل/ الجسم على مستوى الإسقاط.

إذا كانت العين مكان النقطة الثابتة (مركز الإسقاط)، فيمكن الحصول على مسقط لأي جسم كما تراها العين. عند ابتعاد مركز الإسقاط (C) إلى مالا نهاية فإن أشعة الإسقاط (خطوط الإسقاط) تصبح متوازية، ويتحول الإسقاط المركزي في هذه الحالة إلى إسقاط متوازٍ. عندما تكون أشعة الإسقاط مائلة على مستوى الإسقاط، يسمى إسقاطًا متوازيًا مائل، وفي الرسم الهندسي تكون أشعة الإسقاط عمودية؛ لذا يسمى بالإسقاط العمودي. يمكن تمثيل عملية الإسقاط على مستويين متعامدين، أحدهما أفقي والآخر رأسي، ويسمى أي مسقط على المستوى الأفقي بالمسقط الأفقي Horizontal Projection، ويسمى الآخر بالمسقط الرأسي Vertical Projection، والأشعة التي تعطي المسقط الأفقي تسمى أشعة إسقاط أفقي. وبعض الأجسام لا يكفي لتمثيلها مسقطين فقط، لذا يلزم لها مسقط ثالث يسمى بالمسقط الجانبي Side Projection.

في بعض عمليات الهندسة الفراغية تستخدم طريقة الدوران حول مستقيم ويسمى هذا المستقيم بمحور الدوران، وتولد جميع نقط الجسم أثناء عملية الدوران دوائر، وتكون مستويات هذه الدوائر عمودية على محور الدوران، وتقع مراكز هذه الدوائر على المحور وتسمى بالمتوازيات؛ نظرًا لأن مستوياتها متوازية.

إنَّ عملية دوران أي عنصر واقع في مستوى حول محور عمودي على هذا المستوى هي تمامًا عملية دوران العنصر حول نقطة تقاطع المحور مع المستوى.

يحتاج الرسم الهندسي الميكانيكي إلى كثير من التفاصيل ؛ لذلك يلزم رسم مساقط أخرى إضافية علاوة على المساقط الثلاثة الرئيسة. يمكن الحصول على المساقط الإضافية عند النظر إلى الجسم من اليمين، ومن أسفل، ومن الخلف، أي يمكن استخدام ستة مستويات إسقاط. في كثير من الحالات لا تكفي المساقط في إعطاء فكرة كاملة عن الجسم وخاصة الأجزاء الداخلية التي تكون مختفية وتظهر بخطوط متقطعة لذلك يمكن اللجوء إلى أخذ مقاطع Sections للأجزاء المراد أخذ رسومات تفصيلية لها. والمقطع عبارة عن المسقط الذي نراه عند قطع جزء من الجسم بواسطة مستوى قاطع يوازي مستوى الإسقاط ؛ ليوضح جزء أو كل المقطع. تميز المقطع في الرسم الهندسي بالتهشير، أي برسم خطوط متوازية تميل بزاوية ٤٥°، أما باقي مساقط الجسم فترسم كاملة. والخطوط المستقيمة التي ترسم على شكل شرطة طويلة ثم مسافة، ثم نقطة فمسافة، فشرطة أخرى، هي محاور التماثل والتي تمثل الحد الفاصل بين المقطع والجزء السليم.

يمكن استخدام مستويات إسقاط إضافية جديدة، وعليها يتم تعيين مساقط مساعدة جديدة للأشكال الهندسية، وتسمى هذه المستويات بالمستويات المساعدة والتي توضع عمودية على أحد مستويات الإسقاط الأصلية.

و لمزيد من توضيح الرسم الهندسي، قد يحتاج الأمر ضرورة استخدام أكثر من مستوى مساعد. وعند استخدام مستوى ثانٍ، يجب أن يوضع عمودي على المستوى المساعد، وفي هذه الحالة يسمى إسقاط مساعد مزدوج.

الهندسة الطوبولوجية Topology

تعتبر الهندسة الطوبولوجية فرعًا من الهندسة تختص بدراسة الخصائص التي لا تتأثر بتغير الحجم أو الشكل. يعتبر الرياضي الألماني فردريك ريمان Riemann، هو منشئ الهندسة الطوبولوجية حول منتصف القرن التاسع عشر. اقترح ريمان نوعًا من الأسطح -سميت بعد ذلك بأسطح ريمان- لتمثيل دوال المتغيرات المركبة Complex

Variable Functions. وقد تم إثبات أن خواص الدوال ترتبط بالخواص الهندسية لأسطحها. وجد ريمان أيضًا أن الشكل الدقيق للسطح لا يعتبر عاملاً هامًّا لتمثيل الدالة المعينة، وعليه فمن الأفضل تصنيف الأسطح بحيث يتماشى كل نوع أو صنف مع الخواص الجديدة التي وضعها. إذا اعتبرنا شكلين متماثلين -مثل مثلث أو مربع صغير وآخر كبير ولكن لهما نفس الشكل- فإنه يمكن من خلال عمليتي التكبير والتصغير، تحويل أي شكل منهما إلى الشكل الآخر، ويحدث هذا التحويل عن طريق الإسقاط على مستوى متقارب أو مستوى متباعد. يمكن أيضًا من خلال هذا الفرع إجراء علمية تشويه Deformation للشكل، فالدائرة مثلاً يمكن تحويلها إلَى قطع ناقص عن طريق ثنيها، والكرة يمكن أيضًا تحويلها إلَى الشكل البيضاوي من خلال عملية المطّ Stretching. تسمى الأشكال التي يمكن الوصول إليها من أشكال أخرى بواسطة بعض العمليات مثل: الشد، المط، اللوي، اللف، ... إلى آخره، بالأشكال المتشابهة Homomorphic، أو الأشكال المتكافئة طوبوجرافيًّا.

علم الجيولوجيا

تختص علوم الأرض أو الجيولوجيا Geology، بدراسة تكوين الأرض وبنيانها، أي المواد المكونة لمواد الأرض من نواحي تركيبها الكيميائي والمعدني، وخواصّها الطبيعية والكيميائية والميكانيكية، وكذلك العمليات الخارجية والداخلية التي تؤثر على الأرض منذ نشأتها بانفصالها عن النجم الأم -الشمس- وتطور أنواع الحياة عليها سواء أكانت حيوانية أو نباتية.

تزود علوم الأرض المهندسين -خاصة الإنشائيين- بالمعلومات الضرورية عن الخواص الطبيعية والميكانيكية، ونوع الاختبارات المطلوبة للمواد المكونة للقشرة الأرضية سواء كانت تربة أو مواد مفككة أو صخور صلبة، وكذلك الأحوال التي توجد عليها الصخور المختلفة وتراكيبها. فيحتاج تصميم الأساسات وخاصة المنشآت الهندسية الكبيرة مثل السدود Dams، والخزانات Barrages، والأنفاق Tunnels، والطرق الرئيسية، إلى دراسة خواص الصخور تحت السطحية وتراكيبها، وعليه لا يستطيع المهندس تخطيط وتنفيذ أعمال الحفر في الصخور بأمان إلا بعد التعرف على صفاتها الطبيعية والميكانيكية وتحديد نوع التراكيب الجيولوجية التي توجد عليها هذه الصخور. كذلك تتطلب الدراسات الخاصة بأعمال الري والصرف مثل تهذيب مجاري الأنهار وتقوية الجسور وحماية شواطئ البحار من التآكل، معرفة تحليلية عن المياه السطحية للأنهار والبحار والمحيطات، وخواص التربة المتاخمة لها، أو التي تتدفق فيها المياه.

ينقسم علم الجيولوجيا إلى فروع عديدة أهمها

الجيوكيمياء Geochemistry

يتناول هذا الفرع من علوم الأرض توزيع العناصر المختلفة في الأرض ونسبة وجودها، والتركيب الكيميائي للمعادن والصخور المكونة للقشرة الأرضية، ويشمل علوم البلورات والمعادن والصخور وكيمياء الأرض. يختص علم البلورات بدراسة البلورات من ناحية أشكالها الخارجية وتراكيبها الذرية الداخلية. أما علم المعادن فيتناول دراسة الصفات الطبيعية والضوئية والكيميائية للمعادن والتي تكونت من خلال عمليات جيوكيميائية. أما علم الصخور فيتضمن دراسة خواص الصخور من النواحي الطبيعية والميكانيكية وتركيبها الكيميائي والمعدني وأصل نشأتها. وتتكون الصخور من معدن أو أكثر، وتنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي: النارية والرسوبية والمتحولة. أما علم كيمياء الأرض فيختص بدراسة توزيع وانتشار ودورة العناصر المختلفة التي تتكون منها الأرض.

الجيوفيزياء Geophysics

يختص هذا الفرع بدراسة بعض الخواص الفيزيائية للأرض، وبالجو المحيط بالأرض Atmosphere، وبالمحيطات والبحار والأنهار. تنقسم دراسات الأرض إلى طبقاتها الثلاث وهي: القشرة الأرضية Crust، والغلاف الأرضي أو الجبة Mantle، والقلب الصلد للأرض Core، يهتم هذا الفرع أيضًا بدراسة الموجات الزلزالية Earthquake Waves. ومن أهم الطرق الجيوفيزيائية المستخدمة لدراسة الصخور هي طرق الجاذبية والمغناطيسية والكهربية والزلزالية/ السيزمية Seismic.

الجيولوجيا الديناميكية Dynamic Geology

يشمل هذا الفرع من علوم الأرض عددًا كبيرًا من الدراسات المتعلقة بالعمليات الجيولوجية التي تحدث على سطح الأرض وتسمى بالعمليات الخارجية، وكذلك العمليات الجيولوجية التي تنشأ بداخل الأرض وتسمى بالعمليات الداخلية. تتضمن

دراسات العمليات الخارجية عمليات الترسيب في البحار والبحيرات والأنهار، ودراسة المياه السطحية والأرضية .أما العمليات الداخلية التي ينشأ عنها ظواهر جيولوجية بداخل الأرض وخارجها فهي على سبيل المثال دراسة الزلازل، والبراكين Volcanos ، والتراكيب الثانوية في الصخور والناشئة عن الحركات الأرضية العنيفة والتي تؤدي إلى نشأة الجبال والمرتفعات والمنخفضات، وما يصحابها من طيات وفوالق وفواصل وتصدع Faults.

فرع الحفريات القديمة Paleontology

يختص هذا الفرع بدراسات حفريات Fossils النباتات والحيوانات الموجودة في الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks على مدى تاريخ الصخور الجيولوجية المختلفة. من خلال هذه الدراسات يمكن الوصول إلى الكائنات الحية التي كانت موجودة على كوكب الأرض واندثرت من آلاف أو ملايين السنين، أو مقارنة الكائنات الحية في العهود الماضية، والتي مازالت تتواجد في زماننا الحالي، لإمكان تتبع عمليات نشوئها وتطورها. يتوافق هذا الفرع مع علم الجغرافيا القديمة الذي يختص بتوزيع اليابس والماء في العصور الجيولوجية المختلفة.

فرع شكل الأرض Geomorphology

يتعامل هذا الفرع مع التشكيلات المختلفة لسطح الأرض، والتاريخ الجيولوجي لها، من خلال دراسة أسطح الأرض التي دفنت عبر السنين. لقد تعرض سطح الأرض خلال عمره الطويل لعمليات التآكل والتعرية والتفتت Erosion، كما تعرضت أيضًا لعمليات الترسيب Deposition، لذا يلزم دراسة مواد الصخور وبنيانها، وعمليات التعرية والترسيب، والعمليات الجوية التي أثرت على سطح الأرض، لتكوين صور وأشكال لتكوينها في عصورها المختلفة.

فرع جيولوجيا المياه Hydrogeology

يختص هذا الفرع بدراسة المياه الجوفية وتكوينها، وأماكنها، وتحركاتها، وإمكانية تسربها أو ملئها. توجد المياه الجوفية في جميع أنواع الصخور، ولكن تتواجد بالأخص في صخور الحمم البركانية Lavas المشبعة ببخار الماء، وفي الصخور المسامية Porous، والصخور الرسوبية التي لها صفة النفاذية، كما توجد أيضًا في الرمال الغير متحجرة، والحصى Gravels، والصخور الجليدية Glacial، والرواسب الطينية Alluvial.

فرع جيولوجيا البيئة Environmental Geology

تطور هذا الفرع من الجيولوجيا بسرعة كبيرة في العقود القليلة الماضية لاهتمام العلماء وعامة الناس بالبيئة وتأثيراتها. يبحث هذا الفرع في اتجاهات عديدة مثل :

- تأثير الاستهلاك من المياه وصرف مياه الشرب والزراعة على المياه الجوفية، وعلى التربة.
- تأثير دفن النفايات الكيماوية والنووية السامة على التربة والمياه الجوفية.
- تأثير العلميات التعدينية والبترولية، من حفر واستخراج المعادن والوقود الأحفوري (فحم/بترول/ غاز طبيعي) على المنظر الطبيعي للأرض Landscape.

فرع الجيولوجيا التطبيقية Applied Geology

يشمل هذا الفرع تطبيق الأسس والمعلومات الجيولوجية لاستغلال الموارد المعدنية من خامات فلزية ولا فلزية، والتي توجد بالقشرة الأرضية، باستغلالها اقتصاديًّا لفائدة الجنس البشري، والكائنات الحية عامة. تتكون الجيولوجيا التطبيقية من عدة أقسام مثل جيولوجيا التعدين، وجيولوجيا البترول، وجيولوجيا النظائر المشعة، والجيولوجية الهندسية من أجل دراسات طبيعة الأرض وتكوينات صخورها قبل البدء في تشييد أي مشروع صناعي، أو زراعي، أو مباني سكنية، مع الأخذ في الحسبان الهزات الزلازلية المحتملة وكيفية تفادي تأثيرها.

معلومات أساسية عن كوكب الأرض

مساحة سطح الأرض	٥١٠ مليون كيلو متر مربع
مساحة الغلاف المائي	٣٦١ مليون كيلو متر مربع
مساحة اليابس (القارات)	١٤٩ مليون كيلو متر مربع
النسبة المئوية لليابس	٢٩٫٢٪
القطر عند خط الاستواء	١٢٧٥٥ كيلو متر
القطر عند القطبين	١٢٧١٢ كيلو متر
المحيط عند خط الاستواء	٤٠٠٧٤ كيلو متر
المحيط عند القطبين	٤٠٠٠٣ كيلو متر
أقصى ارتفاع للجبال - قمة إفرست	٩٦٠٠ متر فوق سطح البحر
أدنى منسوب لقاع البحار والمحيطات	١٠٨٠٠ تحت سطح البحر
العمر الجيولوجي للأرض	حوالي ٥٠٠٠ مليون سنة

تركيب الأرض

تنقسم الأرض بالجو المحيط بها إلى خمسة أغلفة وهي: الغلاف الهوائي، والغلاف المائي، وغلاف اليابس، وغلاف الحياة، وأخيرًا جوف الأرض. ترتبط هذه الأغلفة مع بعضها البعض بارتباط وثيق، فيوجد انتقال مستمر للمواد في صورها المختلفة من غلاف لآخر. يتعرض الغلاف المائي المكشوف للهواء مثل المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار إلى علمية تبخير مستمرة نتيجة لامتصاصها حرارة الشمس -بطريقة مباشرة أو غير مباشرة- وبذلك ينتقل الماء من الغلاف المائي إلى الغلاف الهوائي، ويتكاثف بخار الماء في الغلاف الهوائي مما يؤدي إلى سقوط الأمطار والثلوج. يؤدي الماء دورًا أساسيًّا في المنظومة الأرضية، خاصة إذا كان مشبعًا بالأكسجين وثاني أكسيد الكربون، لإذابة بعض الصخور مثل الحجر الجيري، وعليه تنتقل المواد المذابة في مياه الأنهار وكذلك بعض المواد الصلبة العالقة بها من غلاف

اليابس إلى الغلاف المائي. يؤدي النشاط البركاني إلى انتقال الغازات والمواد الصخرية المنصهرة -والتي تسمى الصهارة أو الماجما Magma - من جوف الأرض إلى سطحها، وإلى الغلاف الجوي، أو الغلاف المائي في حالة النشاط البركاني في حالة وقوعه في قاع البحار والمحيطات.

١ـ الغلاف الهوائي Atmosphere

يحيط الغلاف الغازي بالقشرة الأرضية ويشكل العناصر المختلفة التي تنشأ عنها الحالة الجوية بالمناطق المختلفة لكوكب الأرض. يتكون الغلاف الهوائي الذي يبلغ ارتفاعه حوالي ١٦٠ كيلو متر من سطح الأرض، من خليط من الغازات وبخار الماء، ويحتوي هذا الغلاف في بعض المناطق على الماء في صورة سحب وأمطار، أو على مواد صلبة كالثلج والغبار والدخان. تعتمد كمية بخار الماء التي توجد في الهواء على عدة عومل أهمها الضغط الجوي ودرجة الحرارة والموقع الجغرافي. يتكون الهواء بصفة عامة من خليط من النيتروجين (الأزوت) بنسبة ٧٧.٩١٪، والأكسجين بنسبة ٢٠.٦٦٪، وثاني أكسيد الكربون بنسبة ٠.٠٣٪، وبخار الماء بنسبة ١.٤٠٪. ويحتوي الغلاف الهوائي أيضًا على كمية ضئيلة من غازات الهيليوم والأرجون والنيون والزينون وغيرها من الغازات، وجميع هذه الغازات تعتبر غازات خاملة وليس لها نشاط كيميائي. كذلك يحتوي الهواء على آثار قليلة من غاز النشادر وحامض النيتريك، وفي المدن الكبرى وخاصة في المناطق التي تحوي صناعات ومحطات قوى كهربائية تقوم بحرق الوقود، يحتوي فيها الهواء على مواد أخرى مثل مركّبات الكبريت ونواتج احتراق الفحم والمنتجات البترولية.

٢ـ الغلاف المائي Hydrosphere

يتكون الغلاف المائي من المياه السطحية المكشوفة على سطح الأرض، والمياه الأرضية التي توجد تحت سطح الأرض في الشقوق وفي المسام الأرضية. تشمل المياه السطحية المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار. يتكون الغلاف المائي من قسمين أساسيين، أولهما: المحيطات والبحار، وتكون فيهم المياه متصلة ومستمرة.

أما القسم الثاني: فهو البحيرات والبرك والمستنقعات والجداول والأنهار، وكلها توجد على اليابسة في القارات، ومياهها منفصلة ومنتشرة على سطح الأرض، يتدرج الانحدار في بعض أجزاء المحيطات خاصة في الأجزاء المحيطة بالقارات لعمق يصل إلى مائتي متر تقريبًا، ويسمى هذا الجزء من القارات المغطى بالمياه بالرصيف القاري، وتبلغ مساحته ٣٠ مليون كيلو متر مربع تقريبًا. لا يعتبر قاع المحيطات مستويًا، ولكنه يتكون من هضاب وسهول ووديان، وتشبه في ذلك تضاريس سطح الأرض لدرجة كبيرة.

٣ـ غلاف اليابس Lithosphere

يتكون الغلاف اليابس من القشرة الأرضية الخارجية الصلبة المكونة للقارات وقيعان المحيطات والبحار. يمتد هذا الغلاف إلى أسفل لمسافة تتراوح ما بين خمسين إلى مائة كيلو مترًا من سطح الأرض. تتكون القشرة الأرضية الصلبة من الصخور، وهي عبارة عن خليط من المعادن دون اعتبار لدرجة تماسكها أو صلابتها، فمن الناحية الجيولوجية يعتبر الصلصال اللدن والرمال المفككة من الصخور مثل المواد الصلبة كالجرانيت والبازلت والرخام. وترجع القشرة الخارجية للأرض ذات أهمية لكونها مصدر الخامات المعدنية. والفحم والنفط، وكذلك المواد اللازمة للإنشاءات.

٤ـ الغلاف الحيوي Biosphere

الغلاف الحيوي هو النطاق الذي يمثل فيه شتى صور الحياة، ويتواجد فيه جميع الكائنات الحية النباتية والحيوانية. يشمل الغلاف الحيوي أجزاء من كل من الغلاف الهوائي والجزء العلوي من اليابس. للغلاف الحيوي دورًا هامًا في التغييرات المختلفة التي تحدث على سطح الأرض، فمثلاً تساعد جذور النباتات والديدان على تفتت وتحلل الصخور تحت الظروف الجوية العادية، وينتج عن التفكك الميكانيكي والتحلل الكيميائي لبعض المعادن المكونة للصخور النارية والمتحولة نشأة معادن وصخور جديدة. وبالإضافة إلى ذلك تقوم الكائنات الحية بدور هام في تراكم المواد العضوية المختلفة على هيئة رواسب معدنية اقتصادية مثل الحجر الجيري العضوي، والطينة الدياتومية، والفحم والبترول والفوسفات وبعض رواسب الكبريت وغيرها.

٥ـ جوف الأرض Centrosphere

لا تزال الخواص الطبيعية والكيميائية للأجزاء الداخلية والتي توجد تحت القشرة الخارجية الصلبة مجهولة. أدت الطرق الجيوفيزيائية وخاصة الوسائل السيزمية لتسجيل الهزات الأرضية وتحديد مواقعها، إلى إلقاء بعض الضوء على طبيعة جوف الأرض. استنتج علماء الجيولوجيا أن كثافة الأرض لا تزيد بانتظام ناحية المركز. فهناك زيادة فجائية في الكثافة عند عمق حوالي ٢٩٠٠ كيلو متر، ينشأ عنها اختلاف في سرعة وانعكاس الموجات الناشئة عن الهزات الأرضية. يبلغ متوسط سمك الغطاء الرسوبي حوالي كيلو مترًا، إلا أنه في بعض المناطق قد يصل سمكه إلى عدة كيلو مترات، ثم توجد قشرة من الصخور المتبلورة Crystalline Rocks، والتي تحتوي على نسبة عالية من السيليكا Silica (ثاني أكسيد السيليكون)، والألومنيا Alumina (أكسيد الألومنيوم)، والقلويات. بعد هذه القشرة يوجد غلاف سميك أثقل نسبيًا، ويتكون أساسًا من صخور غنية بأكسيد الحديد والماغنسيوم، بالإضافة إلى السيليكا. تمتد قشرة السيليكا طبقًا لما توصل إليه العالم الجيوكميائي جولد شميدت Gold Schmidt إلى عمق ١٢٠٠ كيلو متر، وبعدها توجد منطقة من كبريتيدات وأكاسيد الفلزات الثقيلة، كما يوجد في المركز الداخلي للأرض حديد ونيكل في الحالة العنصرية.

ظاهرة التوازن الأرضي Isostasy

اشتقت كلمة إيزوستاسي من الكلمة اليونانية القديمة Isostasios بمعنى التوازن. يرجع ارتفاع كتل اليابسة والمكونة للقارات عن الأحواض المائية للمحيطات، إلى أن الصخور التي تتكون منها كتل القارات هي صخور قليلة الكثافة وخفيفة الوزن، فهي عبارة عن صخور السيال الجرانيتية، والتي تعلو -بسبب كثافته الأقل نسبيًا- على صخور السيما الثقيلة الوزن والمرتفعة الكثافة، والتي تتكون منها قيعان أحواض المحيطات.

تتكون طبقة السيال Sial من صخور جرانيتية متجانسة، تحتوي على نسبة كبيرة من السيليكا مع معدن الألومنيوم، ومجموعة أخرى من المعادن بنسب صغيرة. تبلغ

كثافة طبقة السيال في المتوسط ٢.٧ جرام/ سم٣، ويختلف سمك هذه الطبقة من مكان إلى آخر على سطح الأرض، إذ تكاد أن تختفي اختفاءً تامًا من قاع المحيط الهادي، كما أن سمكها تحت المناطق الجبلية أكبر بكثير من سمكها تحت مناطق السهول. ويبلغ متوسط سمك هذه الطبقة حوالي خمسين كيلو مترًا .

تتكون طبقة السيما Sima من صخور نارية قاعدية تتراوح كثافتها بين ٢.٩ ، ٣.٦ ويبلغ سمكها حوالي ١٢٠ كيلو مترًا . إنَّ تلك الطبقة السفلى من الغلاف الصخري ليست في حالة تامة من الصلابة بل تتميز بالمرونة، وهذا يفسر تعرض صخور القشرة الخارجية للأرض للالتواء والانثناء والهبوط، كما يفسر ظاهرة النشاط البركاني حيث إن هذه الطبقة المرنة قد تحول المواد التي تتكون منها إلى حالة منصهرة إذا ما ارتفعت درجة حرارتها لأي سبب من الأسباب، ولهذا يمكن اعتبار أن طبقة السيما هي المصدر الرئيسي للحمم والمصهورات البركانية التي تنبثق من فوهات البراكين. ومن الأسباب التي قد تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة في تلك الطبقة تفكك وتفاعل المواد المشعة التي يكثر وجودها في طبقة خارجية من قشرة الأرض لا يزيد سمكها عن الأربعين كيلو مترًا ، كما توجد هذه المواد بنسب أقل في الطبقات الداخلية التي تتكون منها الأرض، ولهذا السبب يمكن إرجاع ظاهرة ارتفاع درجة الحرارة بالتعمق في باطن الأرض، بمعدل درجة واحدة لكل ٣١.٨ مترًا، نتيجة تحلل المواد المشعة.

ترتفع السلاسل الجبلية فوق سطح القارات؛ لأنها تتكون من صخور قليلة الكثافة، ولكن لها جذور تمتد إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض. ولكي تحتفظ كتل السيال الجرانيتية التي تكون القارات بتوازنها فوق طبقة السيما البازلتية، وأيضًا لكي تحتفظ السلاسل الجبلية المرتفعة بتوازنها فوق كتل القارات، لا بد أن يغطس ويتعمق جزء كبير منها في طبقة السيما، يبلغ في المتوسط حوالي ثمانية أمثال الجزء الظاهر من هذه الكتل فوق سطح الأرض .

يحدث نفس الشيء في الجبال الثلجية Iceberg والتي يساعد على حفظ توازنها

فوق سطح الماء أن أجزاءها الغاطسة تبلغ في المعتاد تسعة أمثال الأجزاء الظاهرة منها.

طبقة الأوزون Ozone

تمتص المادة الحية بصفة مستمرة كميات كبيرة من الهواء تتفاعل معها وتنطلق منها في الهواء غازات مختلفة. وعلى مر الزمان -طويل المدى- يرتبط التغير في الغلاف الجوي مع تطور الحياة ونمطها على الأرض. ظهر غاز الأكسجين في الغلاف الجوي للأرض بعد وقت طويل من ظهور الكائنات الحية وحيدة الخلية، فقد استعملت هذه الكائنات الأولى مواد ناتجة من العلميات الجيولوجية كغذاء لها. احتوت هذه المواد الهيدروجين وكبريتيد الهيدروجين المتصاعد من البراكين، وكانت هذه المواد هي مصدر الطاقة للخلية، وبعد انقضاء زمن طويل نشأت عملية التمثيل الضوئي الذي يتم فيه استخدام ضوء الشمس كمصدر للطاقة لتخليق الكربوهيدرات من الماء وثاني أكسيد الكربون المتوافر بكثرة في الهواء. وبذلك اكتمل نظام الحياة الذي نعيشه الآن، ولكن غيرت هذه العمليات توزيع كثير من مكونات الغلاف الجوي.

يعتبر ثاني أكسيد الكربون غاز حابس للأشعة تحت الحمراء، وبذلك يظل كوكب الأرض دافئًا. ويتجدد ثاني أكسيد الكربون بتنفس النباتات والحيوانات، وأيضًا عن طريق انبعاثه من البراكين والينابيع الحارة. كذلك يختزن جزء من ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي على هيئة حجر جيري أو رخام، وعلى هيئة غاز طبيعي ونفط وفحم، وعلى هيئة مادة عضوية متداخلة في التربة. وعليه فإن جميع الكائنات الحية تشترك معًا في تكوين تركيب الغلاف الجوي، كما أن التغيرات التي تتم في الغلاف الجوي تؤثر على الحياة على كوكب الأرض. إنه نظام قائم على التفاعل المستمر بين جميع عناصر منظومة الكون.

يتكون الأوزون من اتحاد جزيء من الأكسيجين (O_2) مع ذرة من نفس الغاز(O) أي إنه عبارة عن ثلاث ذرات أكسجين متحدة مع بعضها البعض ويرمز له بالرمز الكيميائي (O_3)، ويعتبر الأوزون أحد مكونات الغلاف الجوي في مجموعة الغازات النادرة، المتغيرة المقدار مثل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان وثاني أكسيد

النيتروجين والأوزون .. إلخ، ومجموعة هذه الغازات النادرة تمثل نسبة ضئيلة لا تزيد عن ١٪ من مكونات الغلاف الجوي.

ويتكون غاز الأوزون في الطبقة الثانية من الغلاف الجوي (من ١٠ إلى ٥٠ كم من سطح الأرض) والمسمَّاة بطبقة الاستراتوسفير Stratosphere في عملية تسمى التحلل الضوئي. وفي هذه العملية تؤثر أشعة الشمس على جزيئات الأكسيجين الموجدة في تلك الطبقة فينقسم جزيءالأكسجين إلى ذرتين والتي يتحد إحداها مع جزيء أكسجين مرة أخرى فيتكون جزيء أوزون (O_3)، ويتم هدم الأوزون طبيعيًّا من خلال سلسلة من التفاعلات يدخل فيها غاز الأكسجين نفسه مرة أخرى مع غازات النيتروجين والهيدروجين والكلور.

والأوزون كلمة يونانية معناها (رائحة) نسبة للرائحة النفَّاذة للأوزون عند تواجده في تركيزات كبيرة ولونه أزرق باهت وسريع الانتشار. والأوزون بطبيعته غاز سام ومؤثر قوي يتحول إلى سائل عند درجة -١١٢°م ويتجمد عند درجة حرارة -٢٥١°م وهو عامل مؤكسد قوي خاصة على الفضة والزئبق كما أنه يستخدم في تنقية الهواء والماء.

يسمح التركيب الجزيئي للأوزون بامتصاص نوع معين من ضوء الشمس فوق البنفسجي (الفئة ب)، والتي من الممكن حالة وصول هذه الأشعة إلى سطح الأرض أن تسبب حروقًا شمسية وسرطان الجلد، كما يمكن أن تسبب في تدمير الأسماك التي تعيش بالقرب من سطح الماء. إن هذه الأشعة الفوق بنفسجية تسبب تغيرًا ملموسًا في المادة البيلوجية فيعاني أي نسيج حي يتعرض لها من آثار سيئة. يتكون الأوزون كل يوم خلال ساعات النهار بواسطة تفاعلات أشعة الشمس الشديدة، وكذلك يتحطم جزء من الأوزون الموجود باللاستراتوسفير بتفاعله مع مواد كيميائية موجودة بصفة طبيعية في هذه الطبقة من الغلاف الجوي. وتتساوى الكمية المتكونة من الأوزون تقريبًا مع الكمية التي تتحطم، ولكن مع نمط الحياة الحديثة، ونتيجة للاستهلاك المكثف للطاقة، وزيادة انبعاث غاز الكلور الذي يساعد في زيادة معدل تحطيم الأوزون. فإن

مزيدًا من الضوء فوق البنفسجي يخترق الغلاف الجوي مما يسبب كوارث بيئية وبيلوجية للكائنات الحية على سطح الأرض.

المعادن Metals

أثبتت التحاليل الكيميائية لعدد كبير من عينات الصخور النارية المأخوذة من جميع أنحاء كوكب الأرض، والتي تمثل عناصرها مكونات صخور القشرة الأرضية، أن عنصر الأكسجين هو أكثر العناصر شيوعًا بنسبة ٤٦،٧١٪، ثم السيليكون بنسبة ٢٧،٦٩٪، ثم الألمونيوم بنسبة ٨،٠٧٪، ثم الحديد بنسبة ٥،٠٦٪، ثم الكالسيوم بنسبة ٣،٦٥٪، ثم الصوديوم بنسبة ٢،٨٣٪، ثم البوتاسيوم بنسبة ٢،٥٨٪، ثم الماغنسيوم بنسبة ٢،٠٧٪، يوجد أربعة عناصر أخرى وهي: التيتانيوم والهيدروجين والفسفور والمنجنيز، ويصل إجمالي نسب تواجدها حوالي واحد في المائة، أي إن إجمالي نسبة الاثني عشر عنصرًا يزيد عن ٩٩٪. توجد هذه العناصر أساسًا على صورة مركبات كيميائية أهمها السيليكات والتي تسمى بالمعادن المكونة للصخور. أما العناصر الباقية فإنها تشمل الفلزات واللافلزات، مثل فلزات المنجنيز والنيكل والنحاس والرصاص والزنك والقصدير والزئبق والفضة والذهب والبلاتين ... وغيرها، والعناصر المشعَّة مثل اليورانيوم، الثوريوم ... وغيرها. توجد معظم عناصر القشرة الأرضية متحدة مع بعضها في صورة مركبات كيميائية تسمى بالمعادن. والمعدن هو مادة صلبة غير عضوية تكونت بفعل عوامل طبيعية. تتميز جميع المواد المتبلورة -ومن ضمنها- المعادن بخاصية الترتيب الداخلي المنتظم للذرات المكونة للمادة. وتوجد ذرات المادة المتبلورة على هيئة وحدات من الخلايا تكون في مجموعها التركيب الشبكي الفراغي للمعدن، أما المواد الغير متبلورة مثل الزجاج والأوبال، فإن ذراتها تكون مختلطة بعضها مع بعض بدون نظام أو ترتيب معين. يعتبر البناء الذري الداخلي للمعدن هو العامل الرئيسي الذي تعتمد عليه جميع خواصه الطبيعية والضوئية والكهربية والمغناطيسية والميكانيكية. تتكون المعادن بصفة عامة بالتبلور من المحاليل، أو بتبريد المواد الصخرية المنصهرة، التي تتواجد على أعماق كبيرة بداخل القشرة

الأرضية والتي تسمى بالماجما، أو بالتسامي من الأبخرة أو بتفاعل الغازات مع بعضها. تنقسم المعادن تبعًا لوجودها في الصخور أو في الخامات المعدنية إلى قسمين رئيسيين، وهما:

مجموعات السيليكات: وتسمى بالمعادن المكونة للصخور، وهي أكثر المجموعات المعدنية انتشارًا، إذ تكون أكثر من ٩٥٪ من مكونات القشرة الأرضية، وحوالي ٤٠٪ من المعادن الشائعة، وما يقرب من ٢٥٪ من جميع المعادن المعروفة.

مجموعات المعادن الاقتصادية: وتسمى بالمعادن المكونة للخامات المعدنية الفلزِّية واللافلزِّية، والتي تتواجد على هيئة تركيزات محدودة النطاق بداخل الأنواع المختلفة من الصخور.

الزلازل Earthquakes

تمتلك الأرض طاقة حرارية تتحول باستمرار إلى قوة حركة تدفع من خلالها أجزاء الأرض الخارجية باتجاهات متباينة، وتحرك في نفس الوقت المواد الموجودة ضمنها بأشكال متعاكسة في كثير من الأحيان ومؤدية بذلك إلى تبدلات دائمة في مظهر القشرة الأرضية، فتارة ترتفع مناطق وتارة تغوص أخرى، ومن ذلك تبدأ الزلازل في الظهور.

قسَّم العلماء تضاريس القارات إلى وحدتين عملاقتين هما: القواعد القارية Plat Form، وهي الأجزاء الأكثر صلابة في القارات والتي تتميز بندرة زلازلها وبراكينها، أي إنها تكون في فترة هدوء بنائية. ثم الوحدة العملاقة الثانية وهي السلاسل الجبلية الالتوائية البنائية المنشأ. والجبال تنقسم إلى مجموعتين حسب منشأها: الأولى الالتوائية، وهي جبال المقعرات البنائية الضخمة مثل جبال الهيمالايا، والثانية هي الجبال الكتلية الصلبة غير الالتوائية، وتعتبر مناطق الجبال مراكز زلزالية من الدرجة الأولى وبخاصة الالتوائية.

تعرف المقعرات البنائية Geosyn Clinal، بأنها منخفضات عميقة وطويلة جدًا تمتد آلاف الكيلومترات، تقطع القارات حينًا، وتحيط بها أحيانًا أخرى متجاورة بذلك مع المحيطات. تخضع المقعرات في بداية تشكلها لحركات خسف وهبوط واتساع، ثم تتحول في النهاية إلى حركات ضغط جانبية ورفع عنيفة. وتحول في طبيعة الصخور من صخور رسوبية إلى صخور متحولة صلبة ممتزجة مع الصخور البركانية المنبثقة من أعماق الأرض. وفي جميع الأحوال ترافق هذه العمليات -سواء الصاعدة منها أو الهابطة- حركات اهتزازية عنيفة وبراكين. وبسبب ضغط الصخور والحرارة الباطنية العالية، تتحول كثير من الصخور إلى نوع مختلف من الصخور، فالكلس يتحول إلى مرمر، والحجر الرملي يتحول إلى كوارتزيت، وتظهر الصخور متبلورة ومتحولة عادية كالجرانيت. إنَّ المقعرات ليست سوى مفاعلات حرارية هائلة يتم فيها صهر الصخور وتحويلها إلى أنواع أخرى تختلف تمامًا عن الصخور الأولى.

كثيرًا ما تؤدي التأثيرات الحركية الباطنية والجانبية إلى ظهور توتر واضطراب كبير في بنية المسطح الداخلية؛ مما يؤدي إلى تكسرها وظهور وحدات أصغر، وتكثر الزلازل في أماكن التكسر استجابة لعمليات التشقق والتمزق في القشرة الصخرية. والقشرة الأرضية كاملة مقسمة إلى مسطحات كبيرة متجاورة تتحرك كل منها حركة متكاملة باتجاه معين. ويوجد ثلاثة أشكال من الحركات وهي:

الحركة التباعدية، والحركة التقاربية، وأخيرًا الحركة التماسية وفيها تنزلق المسطحات بمحاذاة بعضها البعض عبر الصدوع والفوالق. اتفق العلماء على أن الزلازل تتأجج في مناطق اتصال وتماس المسطحات، وأن أكثرها نشاطًا تلك الأماكن المعروفة بسطوح الابتلاع Sub Doction والتي تتم فيها عملية اصطدام مسطح كبير وبقوة خيالية بآخر سميك فينثني المسطح الأثقل تحت الآخر الأخف، أي الذي وزنه النوعي أقل باتجاه الطبقة الضعيفة العالية الحرارة، مما يؤدي إلى ظهور بؤر زلزالية سطحية كثيرة، وقريبة من السطح الخارجي.

توجد الأرض تحت ظروف عديدة ومتغيرة من التوتر والضغوط، يتمثل الأول في ضغط وثقل الطبقات الصخرية السطحية أو العليا على باطن الأرض، يوجد أيضًا التوتر والضغط الجانبي الذي تقابله عملية تمدد واندفاع عمودية عكسية الاتجاه. نتيجة لذلك تتبخر أو تتكسر القشرة الأرضية الصلبة إلى أجزاء صغيرة وكبيرة. يؤدي التوتر الجانبي إلى زحزحة الطبقات الصخرية وإلى تشوهها وتَبَدُّل مظهرها، مما يجعلها أكثر توترًا، وترفع من احتمالية ظهور الزلازل بها. تسمى كل الشقوق المنبعثة في أعماق الأرض ببؤر الزلازل، وهذه الشقوق تستمر في إطلاق الأمواج الاهتزازية مادامت عملية التشقق والتصدع مستمرة، أي أن بؤر الزلازل تمثل مساحة من الأرض هي في واقع الأمر ليست سوى منطقة تهدم وتكسر وتشقق في أعماق القشرة الأرضية وأعماقها. إنَّ الموضع الذي تتكون فيه بؤرة الزلازل في باطن الأرض يسمى بالمركز العميق Hypocentre، أما الموضع الذي يعلوه على سطح الأرض فيطلق عليه المركز السطحي Epicentre، ويمثل الموضع هذا المركز الذي تبلغ فيه قوة الزلزال أشد ما يمكن أي إنه مركز التدمير الأساسي.

علم الفلك وغزو الفضاء

نشأة الكون

منذ حوالي ١٥ ألف مليون سنة، بدأت نشأة الكون بوجود كرة صغيرة شديدة الكثافة والانضغاط، شديدة الحرارة إلى درجة البلايين من الدرجات المئوية، حوت هذه الكرة على بلايين من الكيلو جرامات من ذرات مواد الكون، فحجم الكون كله وكتلته تمثلت داخل هذه الكرة، التي يمكن اعتبارها نواة الكون وبذرته الأولى. ثم حدث هذا الانفجار العظيم Big Bang، وانتشر الكون في الفراغ اللانهائي وتناثرت المكونات، وانخفضت درجة الحرارة انخفاضًا نسبيًّا من بلايين الدرجات إلى ملايين الدرجات. إن الجزء من المليون من الثانية لا يشكل شيئًا يذكر، ولكنه يمثل في علم فيزياء الجسيمات الأولية، أي علم الذرات وما أقل زمنًا طويلاً للغاية، لقد شهدت المراحل الأولى لهذا الانفجار نشاطًا عنيفًا من التفاعلات النووية. استمر الانخفاض في درجات الحرارة بانتشار الكون مع مرور الزمن. وبدأت ساعة زمن منظومة الكون Universe System في العمل، ليتوالى الانفجار والانقسام وتباعدت مواد الكون عن بعضها البعض، وعن مركز الكون بسرعة هائلة، وضد الجاذبية التي كانت قائمة بينها، واستمر الكون في الانتشار حتى يومنا هذا.

كانت مكونات الذرات من إليكترونات وبروتونات ونيوترونات، حرة غير متحدة تحت الظروف الحرارية المرتفعة. بدأ اتحاد مكونات الذرة عند انخفاض درجة الحرارة انخفاضًا نسبيًّا لتكوين عناصر الكون. بدأ هذا الاتحاد أولا في العناصر الثقيلة

نسبيًا من بروتونات ونيوترونات، فحدث الاندماج لتكوين نواة الذرة، أما الإليكترونات الأخف وزنًا نسبيًا فقد انضمت إلى عناصر الذرة بعد ذلك عند الانخفاض التالي في درجات الحرارة الذي كان يحدث بتمدد الكون. بانجذاب الإليكترونات السالبة الشحنة إلى نواة الذرة الموجبة الشحنة اكتمل تكوين الذرات في صورتها المعروفة.

تكونت سحبٌ من غاز الهيدروجين بنسبة ٥٥٪ وغاز الهليوم بنسبة ٤٤٪ بالإضافة إلى ١٪ من العناصر الأخرى المختلفة، هذان الغازان اللذان سيتكون منهما معظم أجزاء الكون في المراحل اللاحقة. أدى الانخفاض النسبي في درجة الحرارة إلى وقف التمدد في السحب المتكونة من غاز الهيدروجين والهيليوم وتقلصها، مما يجعلها تدور بسرعة أكبر لتوازن جذب المادة التي تحتويها وبداخلها، وبذلك تكونت المجرات العملاقة Galaxy التي احتوت بعد ذلك على بلايين من النجوم والكواكب.

تستمر عملية تكوين الكون بمرور الزمن، فتنسل بعض سحب غازي الهيدروجين والهيليوم من السحابة العملاقة المسماة بالمجرة، وتنكمش هذه السحب المنفصلة، الصغيرة نسبيًا، ويحدث احتكاك للذرات في داخلها، فتزيد درجة الحرارة إلى المستوى الذي يحدث عنده تفاعلات نووية. ينتج عن هذه التفاعلات تحويل الهيدروجين إلى مزيد من الهيليوم، كما ينتج طاقة حرارية هائلة تؤدي إلى تناثر مادة السحب إلى الخارج فيتوقف انكماش السحب وتقلصها، فتتكون النجوم التي تحتوي على غازي الهيدروجين والهيليوم. تشع هذه النجوم حرارتها وضوءها نتيجة تحويل الهيدروجين إلى هيليوم، وعندما ينتهي مخزون الطاقة الكامنة في النجوم بنفاذ الهيدروجين الذي يتحول إلى هيليوم، والذي يتحول بدوره إلى عناصر ثقيلة من الأكسجين والكربون، الذي يحرق تمامًا فتبرد حرارة النجم ويتقلص وتنضغط مادته، ويتحول إلى نجم نيتروني، ومع زيادة انضغاط مادة النجم يتحول إلى ما يسمى بالثقب الأسود الذي يستطيع ابتلاع أي مادة أو شعاع يمر من خلاله.

قد تنفجر المناطق الخارجية من النجوم فتكون أكثر إشعاعًا وتألقًا وتكوِّن ما يسمى بالنجوم السوبر نوفا Super Nova. تكونت الشمس كنجم من جيل ثانٍ أو ثالث من بقايا نجوم سوبر نوفا. تناثرت من النجوم بعض العناصر الثقيلة مثل السليكون والحديد والعناصر الأخرى، مكونة الكواكب التي تدور حول النجم مثل كوكب الأرض الذي يدور حول الشمس.كما انفصلت بعض الكتل من الكواكب لتتكون الأقمار التي تدور حول الكواكب.

اكتشف عالم الفلك هوبل أن لون الضوء يميل إلى اللون الأزرق عندما يتحرك في اتجاهنا كما يميل لون الضوء إلى الاحمرار عندما يكون الضوء متباعدًا، وعند رصد درجات الضوء الوافد من المجرات والنجوم خارج مجرتنا وجد أن الضوء يميل إلى الاحمرار، مما يدل على أن المجرات التي تنتشر في كوننا الفسيح اللامتناهي والتي تحوي بلايين من النجوم آخذة في التباعد عن مجرتنا ونجمنا الشمسي. وعلى ذلك استنتج هوبل أن الكون في حالة تمدد مستمرة ويتسع بمرور الزمن. نتيجة لقوة الجاذبية، يأخذ الكون الشكل الكروي، إن المادة بصفة عامة يجذب بعضها البعض، الكتلة الأثقل هي التي تجذب الكتلة الأخف، هذه الجاذبية هي التي تجعلنا ثابتين على وجه كوكب الأرض وتمنعنا من التحليق في الفضاء. تبلغ قوة جاذبية الشمس سبعة وعشرون مرة ضعف قوة جاذبية الأرض، والمجرات بما تحتويه من البلايين من المجرات لها قوة جاذبية هائلة بالنسبة للنجوم والكواكب. إن مجموع قوى الجاذبية المتمثلة في بلايين مجرات الكون تجعل الفضاء من حولها ينحني على نفسه كما تجعل الضوء أيضًا ينحني فلا يسير في خطوط مستقيمة بالنسبة للإحداثيات المستقيمة المتعارف عليها، وعليه أثبت علماء الفلك انحناء الكون.

تنتظم المجرات في الكون في مجموعات يختلف أشكالها وأحجامها، وتوجد مجرة درب التبانة في مجموعة كونية تتكون من ثلاثين مجرة تسمى بالمجموعة المحلية Cluster، وتعتبر مجموعة مجرات العذراء والتي تحتوي على ألفين وخمسين مجرة أقرب المجموعات بالنسبة إلينا. تحتشد المجموعات المحلية في مجموعات عنقودية أكبر تسمى

بالسوبر كلستر Super Cluster التي تأخذ شكل حائط ضخم من المجرات يسمى حائط المجرات العظيم. يبلغ طول هذا الحائط حوالي ٥٠٠ مليون سنة ضوئية، وعرضه ٢٠٠ مليون سنة ضوئية، أما سمكه فيبلغ ١٥ مليون سنة ضوئية. توجد مادة قاتمة وباردة تمثل حوالي تسعون في المائة من كتلة الكون تسمى بالمادة الباردة السوداء Cold Dark Matter توجد بين المجرات وبين تجمعات المجرات، وهي عبارة عن غازات، وأتربة كونية، وذرات العناصر الكيميائية. كما توجد سحب هائلة من الغازات بين المجرات تبلغ درجة حرارتها ملايين من الدرجات المئوية.

تهيم جزيئات سريعة للغاية في جميع اتجاهات فضاء الكون بصور عشوائية، تسمى بالأشعة الكونية والتي تشارك في التطور النووي والكيميائي والبيولوجي لعمليات التفاعل. تتولد بعض هذه الجزيئات أو الأشعة الكونية من التفجيرات العنيفة التي تحدث على سطح النجوم. تصطدم الأشعة الكونية بما يقابلها في طريقها، ويتولد من هذا التصادم تفاعلات مختلفة، خاصة على صعيد التطور الذري حيث تفوق طاقة الأشعة الكونية الطاقة اللازمة للانشطار النووي، أي فصم الترابط النووي، مما يؤدي إلى تفتيت بعض النوى الذرية للمادة الواقعة بين النجوم إلى أجزاء هي عبارة عن نوى أصغر تكون ذرات جديدة بعد ذلك عندما تنضم إليها الإليكترونات.

مجرة الطريق اللبني (درب التبانة)

قدر علماء الفلك عدد المجرات في الكون بحوالي (١٠٠-٦٠٠) بليون مجرة، وتضم كل مجرة في المتوسط عدة بلايين من النجوم، وأكثر من هذا العدد كواكب وأقمار تابعة. كفكرة عامة على أبعاد هذه المجرات عن مجرتنا المسماه درب التبانة أو الطريق اللبني Milky Galaxy فإن مجرة المرأة المسلسلة تبعد عنا حوالي اثنين مليون سنة ضوئية، وهذه المجرة تعتبر من المجرات القريبة لمجرتنا، كما تبعد بعض المجرات الأخرى مثل مجرة (ن.ع.ت. ٢٥٣) عن مجرتنا بمسافة تقدر بحوالي ١٣ مليون سنة ضوئية، وتقترب هذه المجرة من مجرتنا بسرعة هائلة. أثبت علماء الفلك أن جميع المجرات تتباعد عن بعضها بسرعات تترواح ما بين حوالي نصف مليون كيلومتر في

الساعة إلى حوالي ٣,٥ مليون كيلومتر في الساعة، وقد يحدث أن تصطدم مجرتين ببعضهما إلا أن الفراغ الكبير والمسافات الشاسعة بين نجوم المجرات يسمح بتداخل المجرتين دون اصطدام نجوم المجرات، وإنما يحدث الاصطدام بين غازات وغبار المجرات فقط.

صنف عالم الفلك هوبل المجرات في ثلاث فئات، الأولى منها هي المجرات الغير منتظمة الشكل، وهي المجرات التي تكون في بداية تكوينها ونسبتها حوالي ٣٪ من مجرات الكون، والثانية هي المجرات الحلزونية وتشكل هذه الفئة حوالي ٨٠٪ من مجرات الكون ومنها مجرتنا درب التبانة، وتمتاز مجرات هذه الفئة بمحور مركزي وهالة من النجوم وعناقيد النجوم وأزرع حلزونية. أما الفئة الثالثة فهي المجرات البيضاوية ونسبتها ١٧٪، وتأخذ هذه المجرات الشكل العدسي، مما يدل على أنها في مرحلتى الهرم أو الشيخوخة. يبدأ تكوين المجرة بسحابة غازية غير محددة الشكل، تتصادم فيها ذرات الغازات والغبار الكوني. يزداد التصادم عند مركز المجرة حيث تشتد الكثافة، وينتج من هذا التصادم حرارة فائقة تؤدي إلى حركة دائرية للسحابة بالكامل، فتأخذ السحابة الشكل الكروي، ثم تتشكل نواة في السحابة يزداد حجمها باستمرار، وتزداد قوة جاذبيتها.

نتيجة للحركة المحورية للسحابة تبدأ في التفلطح وأخذ الشكل العدسي، تسمى هذه المرحلة في عمر المجرات بمرحلة الشباب، حيث يبدأ تكوين دوامات في ثنايا المجرات، بدءًا من المحور وحتى في الأطراف. عندما تلتهب الدومات تتحول إلى نجوم حديثة التكون. مع ازدياد سرعة الدورة المحورية في المجرة، تزداد القوة الطاردة فيها، فتظهر في الأطراف أذرع لولبية تدور مع المجرة بسرعة حوالي مليون كيلو متر في الساعة، تسمى هذه المرحلة من عمر المجرة بمرحلة النضج والتي يتزايد فيها تشكيل النجوم. عندما ينفذ من النجوم والكواكب معظم غاز وغبار المجرة تخف سرعة دورتها المحورية وتنخفض درجة حرارتها، وتتقلص الأذرع اللولبية في جسم المجرة وتعود هيئة المجرة إلى الشكل العدسي، ويقف تكون النجوم والكواكب، ويمكن حينئذ

القول بأن المجرة دخلت مرحلة الشيخوخة.

اكتشف علماء الفلك حديثًا بعض الأجرام الكونية التي لها طابع خاص مغاير لطبيعة المجرات تسمى بالكويزرات، تبعد عن مجرتنا بحوالي (٢-١٦) بليون سنة ضوئية. تأتي تسمية الكازارات أو الكويزرات Quasars اختصار الجملة (الأجسام الشبيهة بالنجوم)، وهي أجسام شديدة التوهج، باهرة النور، تقع في أماكن سحيقة البعد من الكون. تختلف طبيعة الكويزرات عن المجرات، ومن تحليل نورها تبين أنه يبلغ مرتبة ما فوق البنفسجي لشدة سطوعها المقدر بنور ألف مليون شمس. تبلغ سرعة بعض هذه الكويزرات حوالي ٢٤٠ ألف كيلومتر/ الثانية، أي حوالي ٨٠٪ من سرعة الضوء. تعتبر الكويزرات نوعًا خاصًّا من المجرات تكمن في أقاصي الكون، قد يتوسطه ثقب أسود ناتج من انفجار نجم في مركز المجرة، هذا الثقب الأسود له قوة جاذبية كوكب الشمس بحوالي ٥ بليون مرة، وتسبب قوة جاذبية الثقب الأسود اندفاع نجوم المجرة بسرعات هائلة نحو مركز الثقب لتموت فيه، فهذه الثقوب لها خاصية ابتلاع أكبر النجوم. يتكون الثقب الأسود من تقلص النجوم العملاقة الضخمة على نفسها، فتتحول إلى كره شديدة الكثافة لا يزيد قطرها على عدة كيلومترات أو حتى عدة أمتار، بالرغم من احتفاظها بكتلتها الأصلية، وتلتهم الثقوب السوداء يوميًا آلاف من النجوم التي تمر بجانبها، حتى أشعة الضوء لا تسلم من الالتهام.

تسمى المجرة التي تضم المنظومة الشمسية Solar System وبلايين أخرى من النجوم بالطريق اللبني. سمى القدماء هذه المجرة بدرب التبانة أي طريق التبن لشبه أضواء نجوم المجرة بالتبن المنثور، أما تسمية الطريق اللبني فقد جاء من تعبير يوناني (دائرة اللبن). تتفاوت حجم النجوم التي تحتويها مجرتنا، فمنها ما يماثل الشمس حجمًا ومنها ما يفوق حجمها آلاف المرات، كما تضم المجرة قدرًا من الكواكب قد يفوق عدد النجوم بعدة مرات، هذا بالإضافة إلى توابع الكواكب من أقمار وحلقات، وبلايين من المذنبات والنيازك والشهب. يقدر علماء الفلك طول مجرة

درب التبانة بمائة ألف سنة ضوئية، وعرضها حوالي ١٦ ألف سنة ضوئية تدور حول نفسها بسرعة فائقة تبلغ حوالي مليون كيلومتر في الساعة ويؤدي دورانها حول نفسها إلى تدفق الغازات والأتربة الكونية من المركز نحو الأطراف. تتركز حول المحور المركزي نجوم هرمة ذات نور أحمر، بينما تتركز النجوم الشابة ذات النور الأزرق الساطع في الأطراف وفي الأذرع اللولبية.

تعتبر مجرتنا من أكبر مجرات الكون فهناك ما يقرب من أربعمائة ألف مليون نجم في مجرة درب التبانة، كما تعتبر المجرة قد بلغت مرحلة النضج، ويتوقع علماء الفلك أنه ما زال في عمر المجرة ما يعادل ما مضى منها. تقع مجموعتنا الشمسية داخل المجرة في مكان أقرب إلى الأطراف منه إلى المركز، فتبعد شمسنا عن المركز بمقدار٣٠ ألف سنة ضوئية. تبلغ كتلة المجرة حوالي ٢٣٠ ألف مليون كتلة كوكب الشمس، ويتراوح عمر المجرة ما بين خمسة إلى ثمانية بليون سنة. تدور المجرة حول نفسها من الشرق إلى الغرب مرة كل ٢٥٠ مليون سنة. وللمجرة أذرع ضخمة تدور معها، تبعد عن مجموعتنا الشمسية بمسافات تتراوح ما بين ٦٥٠٠ و ٢٥ ألف سنة ضوئية.

المجموعة الشمسية Solar System

تدور الشمس في مجرة درب التبانة في دورة تستغرق ٢٠٠ مليون سنة تمر فيها الشمس خلال سحب غبار المجرة، ويمكن لهذه السحب أن تعتم الضوء وتغير من كمية الحرارة التي تستقبلها الأرض من الشمس، ويرى بعض علماء الفلك أن العصور الجليدية العظمى هي نتيجة مرور الشمس داخل سحب مجرة درب التبانة. يبلغ عمر نجم الشمس حوالي خمسة بليون سنة، وتقع المجموعة الشمسية على فرع جانبي من مجرة درب التبانة، ما بين ذراع الجبار وذراع فرساوس، وتبعد المجموعة الشمسية عن مركز المجرة بحوالي ٣٠ ألف سنة ضوئية، كما تبعد عن حافة المجرة بمقدار ٢٠ ألف سنة ضوئية.

ترتبط الأرض ككوكب من تسعة كواكب بالمجموعة الشمسية بقوة الجاذبية التي

تجعلها تدور في مدارات مختلفة الأطوال حول الشمس. يسمى زمن الدورة الكاملة للكوكب حول الشمس بالسنة، يأخذ المدار الشكل البيضوي Elliptical والذي يقع على خط الاستواء الشمسي Sun's Equator. تدور الكواكب أيضًا حول محورها، وتسمى الدورة الكاملة باليوم. تعتبر الأرض الكوكب الثالث بعدًا عن الشمس، كما تعتبر الخامس حجمًا بين الكواكب التسع، ولكنها مقارنة بالشمس تعتبر الأرض صغيرة جدًا، فكتلة الشمس تبلغ حوالي ٣٣٠ ألف مرة قدر كتلة الأرض أما حجمها فيبلغ حوالي مليون ضعف حجم الأرض، ويبلغ متوسط كثافتها نحو ثلث كثافة الأرض، يزيد درجة حرارة مركز الشمس على عدة ملايين من الدرجات المئوية، أما السطح الخارجي لها فيبلغ درجة حرارته عدة آلاف فقط. في هذا المناخ المرتفع الحرارة لا تتماسك الذرات وتنشطر إلى إليكترونات ذات شحنة سالبة ونوى ذات شحنة موجبة، وتخلق هذه الجسيمات المشحونة كهربيًا مجالات مغناطيسية شديدة. يبين الجدول التالي بعض البيانات عن الشمس والكواكب التابعة لها مرتبة حسب ثقلها:

الاسم	القطر (كيلو متر)	متوسط البعد عن الشمس (م.ك.م)	طول السنة بالأيام
الشمس Sun	١٣٩٢٠٠٠	- -	- -
عطارد Mercury	٤٨٨٠	٥٧.٩	٨٨
الزهرة Venus	١٢١٠٤	١٠٨.١	٢٢٥
الأرض Earth	١٢٧٥٦	١٤٩.٥	٣٦٥
المريخ Mars	٦٧٨٧	٢٢٧.٧	٦٨٧
المشترى Jupiter	١٤٢٢٠٠	٧٧٧.٨	١٢
زحل Saturn	١١٩٣٠٠	١٤٢٦.٠	٣٠
أورانوس Uranus	٤٧٠٠٠	٢٨٦٩.٤	٨٤
نبتون Neptune	٤٨٠٠٠	٤٤٩٤.٩	١٦٥
بلوتو Pluto	٣٠٠٠	٥٨٩٩.٥	٢٤٩

م.ك.م: مليون كيلومتر.

تحتوي الشمس على ٧٢٪ من مادتها غاز الهيدروجين، ٢٧٪ هيليوم، كما أن كتلة المعادن مثل السليكون والحديد والنيكل والكربون لا يتعدى ١٪ من كتلة الشمس، تتمركز هذه المعادن في قلب الشمس الذي يبلغ حجمها ١,٣ مليون مرة قدر حجم الأرض.

توجد قوتان تؤثران على حركة الكواكب المدارية حول الشمس، أول هاتين القوتين هي قوة الجاذبية والتي تحاول جذب الكوكب نحو الشمس، تتناسب هذه القوة طرديًّا مع كتلة الشمس والكواكب، كما تتناسب عكسيًّا مع المسافة بينهما. أما القوة الثانية فهي القوة الطاردة المركزية والتي تعادل قوة جذب الشمس للكواكب. تدور معظم الكواكب من الغرب إلى الشرق مثل اتجاه دوران الشمس، كما تدور معظم الكواكب ومنها الأرض حول نفسها في نفس الاتجاه (عكس حركة دوران عقارب الساعة). يختلف مدار الكواكب حول الشمس، مثل كوكب عطارد القريب جدًّا نسبيًّا من الشمس فيدور بطريقة لولبية، مختلفة عن حركة دوران الكواكب الأخرى حول الشمس. يفوق وزن الشمس وزن جميع الكواكب التي تدور حولها، والكواكب التي لها مدار قريب نسبيًّا من الشمس مثل الأرض تكون صغيرة ولها أسطح من صخر صلب، أما الكواكب التي يبعد مدارها عن الشمس فهي عملاقة نسبيًّا، وتتكون من الهيدروجين والهيليوم والأمونيا والميثان في الحالة الصلبة المتجمدة لبعدها عن حرارة الشمس.

نظرة عامة على كواكب المجموعة الشمسية يتضح أن كوكب المريخ أصغر من كوكب الأرض، كما يمتاز المريخ بغلاف جوي رقيق، ومعظم سطح المريخ صحراء ذات رمال صدئة لونها أحمر، تهب على الكوكب أحيانًا عواصف رملية عنيفة. أما كوكب المشترى وزحل وأورانوس فتمتاز بضخامتها وأغلفتها الجوية العملاقة التي تتكون في الغالب من الهيدروجين والهيليوم. يتسم كوكب الزهرة بارتفاع درجة حرارة سطحه التي قد تصل إلى ٤٧٠ درجة مئوية حيث إن غلاف الكوكب المكون من ثاني أكسيد الكربون لا يسمح بارتداد أشعة الشمس مما يرفع درجة حرارة

الكوكب، أما ضغط كوكب الزهرة فيفوق الضغط على الأرض بأكثر من تسعين مرة، ويوم كوكب الزهرة (٢٤٣ من أيام الأرض) أطول من سنته (٢٢٥ يومًا من أيام الأرض) لأنه يدور حول محوره ببطء شديد ولكن يدور حول الشمس بسرعة كبيرة، ويشترك كوكب عطارد مع كوكب الزهرة في هذه الخاصية فيومه يعادل ١٧٦ يومًا من أيام الأرض أما سنته فتعادل ٨٨ يومًا فقط. يبلغ إجمالي عدد أقمار كواكب المجموعة الشمسية ٦٢ قمرًا، يدور قمر واحد حول الأرض، ويعتبر زحل هو أكثر الكواكب يدور حولها أقمار فيبلغ عدد أقمارها ١٨، أما أورانوس فيبلغ عدد أقماره ١٥ قمرًا.

إن النظام الشمسي لا يحوي مع الشمس كنجم، كواكب وأقمارًا فقط، فكثير من الكويكبات Asteroids والمذنبات Comets تدور أو تهيم داخل النظام الشمسي، فالكويكب هو جرم صخري أو معدني يدور حول الشمس، والعديد منه له مسار يقطع مسار كوكب الأرض، ويتراوح قطر الكويكب من حوالي كيلو متر إلى عدة مئات من الكيلومترات، ولا يزيد حجمه عن ألف كيلومتر. يبلغ عدد الكويكبات التي في حجم الكيلومتر عدة ملايين، وتتواجد الكويكبات عامة في حزام بين مداري المريخ والمشترى. أما المذنبات فهي تشبه كرة من الحصى الصخرية والثلج، يبلغ قطرها حوالي كيلومترين. يتجمد رأس المذنب وهو بعيد عن الشمس، ويحتوي الثلج مع الحصى الصخرية المواد اللازمة لنشوء الكون مثل الأمونيا والأحماض الأمينية، ويذهب بعض العلماء إلى أن اصطدامات المذنبات بالأرض ربما جلبت الجزيئات العضوية الأولية التي تطورت بعد ذلك إلى الكائنات الحية. عندما تقترب المذنبات من الشمس، يتبخر الجليد مشكلاً ذيلاً طويلاً من الغبار والغاز، وعندما تدخل قطعة صغيرة من الزغب المذنبي -حتى وإن كانت بحجم حبة الرمال- إلى الغلاف الجوي لكوكب الأرض بسرعة عالية، فإنها تحترق مكونة ذيلاً لحظيًا من الضوء يطلق عليه الشهاب Meteor. إن بعض المذنبات المفككة لها مدارات تتقاطع مع مدار كوكب الأرض، لذا فإن كوكب الأرض أثناء دورانه حول الشمس يسير خلال أحزمة من الركام المذنبي المداري.

يبحث علم الفلك Astronomy في دراسة الكون خارج نطاق الأرض. بدأت دراسة الفلك عند إنسان العصور القديمة عندما وجد عنده وقت فراغ وحب استطلاع للتطلع نحو السماء، مفكرًا بترو وتركيز في الأجسام المضيئة التي تنير السماء ليلاً، أو في جسم آخر مضيء يبث النور والحرارة أثناء فترة النهار. اكتشف هذا الإنسان أن حركة الأجرام السماوية يمكن أن تقيس الوقت. إن الشمس هي التي تحدد الليل والنهار، وتعاقب الفصول. أما القمر والنجوم فتنبئ بحلول ساعات الليل. استنبطت تقاويم فلكية تستند إلى الدورات المنتظمة للنجوم في مصر الفرعونية، وفي بابل في زمن يزيد عن خمسة آلاف عام. قسم المصريون السنة الزراعية إلى ثلاثة فصول، واتخذوا الوقت الذي يكون فيه نجم الشعرى اليمانية في موقع معين في شرق السماء، كبداية للسنة الزراعية، فيعني ظهور نجم الشعرى اليمانية اقتراب وقت فيضان النيل. في تلك العصور القديمة، استخدمت قبائل المايا في أمريكا الوسطى الأرصاد الشمسية لتحديد الوقت الذي يقومون فيه بحرق حقول الذرة، استعدادًا لزراعتها في العام الزراعي الجديد، وكانوا يراجعون تقويمهم على قياس تحركات كوكب الزهرة.

أدرك إنسان الحضارات الأولى أن منظومة الأجرام السماوية لا تسير بطريقة عشوائية، بل على العكس هي تخضع لنمط منظم. إن النجوم تبدو معلقة في السماء في مجموعات محددة، وبعض هذه المجموعات تظهر متتابعة وتصعد دائمًا في الشرق قبل بزوغ الشمس بقليل. استنتج الفلكيون في العصور القديمة أن هذه المجموعات تمتد في شكل حزام حول دائرة السماوات، وأن الشمس في رحلاتها الظاهرة حول الأرض تظل محتفظة بهذا الحزام دائمًا. أطلق الفلكيون على هذه المجموعات أسماء معينة، وأصبحت تمثل الاثني عشر برجًا المعروفة، وكان المنجمون -وما زالوا- يستخدمون هذه الأبراج للتنبؤ بالأحداث المستقبلية.

سجل كهنة بلاد النهرين تحركات الشمس والقمر والكواكب السيارة في تفصيل إحصائي مكنهم من التنبؤ بالتقريب بأوقات خسوف القمر، كما رسموا خريطة لمسار

الشمس عبر السماء خلال العام، كما أحصوا بدقة الفترة الزمنية للشهر القمري وقدروها بأكثر قليلاً من تسعة وعشرون يومًا ونصف اليوم. قامت الحضارة الصينية القديمة بتسجيل أرصاد للكسوف يرجع تاريخها إلى أربعة آلاف عامًا قبل الميلاد، وأقامت مراصد عديدة في أماكن متفرقة من بلاد الصين. لقد سار علم الفلك في كافة الحضارات القديمة، جنبًا إلى جنب مع التنجيم والخرافة، والأساطير والسحر، والديانات البدائية للكهنة ورجال الدين.

ظهر الفلك بالمعنى العلمي الصحيح في بلاد اليونان، من خلال العلوم الهندسية التي تطورت على أيدي الفلاسفة الإغريق. نشأت أول مدرسة علمية يونانية للفلك في مدينة مليطس اليونانية التي كانت تقع جنوب مدينة طروادة على ساحل تركيا الحالي. في عام ٦٠٠ ق.م، تصور الفيلسوف الإغريقي طاليس أن الأرض كروية الشكل، وبعد قرنين من الزمان كانت تلامذة فيثاغورث يذهبون إلى كروية الأرض، وأنها أيضًا تتحرك في الفضاء. عندما انتقلت عاصمة اليونان الثقافية من أثينا إلى الإسكندرية بمصر، استمرت مدرسة الفلك التي كانت تنادي بفكرة تحرك الأرض. كان أريستارخوس الساموسي في القرن الثالث قبل الميلاد يعتقد أن الأرض تدور حول نفسها كما أنها تدور في السماء، وأنها ليست مركز الكون، مما أدى إلى اتهامه في عقيدته الدينية. صاغ الفلكي الإغريقي هيبارخوس -الذي مارس نشاطه في رودس والإسكندرية حوالي عام ١٥٠ق.م- نظريته التي جاء فيها أن الأرض الكروية ثابتة لا تتحرك، بينما تدور الشمس والقمر والكواكب السيارة حول الأرض في مدار كبير، وفي الوقت ذاته تتحرك نفس هذه الأجرام في دورات أخرى دائرية مراكزها على محيط مدار الأول. أوضحت نظرية هيبارخوس التحركات التي لاحظها الفلكيون الأوائل، وأصبح في الإمكان التنبؤ مقدمًا بمواقع الكواكب السيارة، وكذلك التنبؤ بأسباب الحركة التراجعية، حين يبدو أن كوكب يبطئ حركته ثم يتوقف عن الحركة، ثم يعود أدراجه في السماء. قام كلوديوس بطليموس حول عام ١٤٠ بعد الميلاد بتنقيح نظرية هيبارخوس، كما كتب دائرة معارف فلكية في كتابه «المجسطي». ظلت نظرية

بطليموس سائدة على مدى ثلاثة عشر قرنًا أخرى من الزمان، يتداولها علماء الفلك في الحضارات اليونانية، ثم الرومانية، ثم العربية، لتعود مرة ثانية إلى أوروبا.

بعد حوالي أربعة عشر قرنًا من نظرية بطليموس، قام الفلكي البولندي نيكولاس كوبرنيكس Copernicus في عام ١٥٤٣ بتفنيد نظرية بطليموس، معلنًا أن الشمس يجب أن تكون مركزًا لكل شيء، حيث تستطيع أن تمد سائر الكواكب السيارة بالضوء. وبالرغم من أن كوبرنيكس قد افترض خطأً أن الكواكب السيارة تتبع في حركاتها مدارات دائرية تمامًا، إلا أن نظريته الخاصة بمركزية الشمس قد ساعدت في تفسير الكثير عن النظام الشمسي، إلا أن نظرية كوبرنيكس لم تلق القبول إلا في القرن التالي. في نفس القرن، قام الفلكي الدنماركي تيخو براهي Brahe ببناء مرصدًا في عام ١٥٧٦، أمضى فيه ما يقرب من واحد وعشرون سنة يرصد النجوم والكواكب السيارة، ويسجل حسابات تحركاتها بمستوى عالٍ من الدقة. بالرغم من تشبث براهي بنظرية مركزية الأرض، إلا أن حسابات وأبحاث براهي التي انتقلت إلى أيدي علماء لاحقين ساعدت على صحة نظريات كوبرنيكس عن الكون.

في عام ١٦٠٩ صوب الفلكي وعالم الطبيعة والرياضيات الإيطالي جاليليو Galileo منظاره البدائي نحو السماء، فوجد جبالاً في القمر، ثم رأى أن للزهرة أوجهًا كأوجه القمر، مما يدل أنها تدور في مدار مركزه الشمس، وهكذا فند جاليليو النظرية التي تدعو أن الأرض هي مركز الكون، وأن الشمس والأجرام السماوية الأخرى تدور حولها. في عام ١٦١٥ ذهب جاليليو إلى روما لإعلان صحة نظرية كوبرنيكس بمركزية الشمس. غضب بابا روما بول الخامس Pope Paul V، وأصدر تعليمات بتشكيل لجنة لفحص آراء جاليليو. توصلت اللجنة إلى أن هذه نظرية مركزية الشمس تتعارض مع الكتب المقدسة، وقدم جاليليو للمحاكمة متهمًا بالزندقة والكفر. أدانت الكنيسة الكاثوليكية جاليليو في عام ١٦٣٣ وأعلنت في اتهامها لجاليليو: أن المذهب الداعي إلى أن الأرض ليست مركز الكون وأنها غير ثابتة بل تتحرك خلال دوران يومي، يعد مذهبًا منافيًا للعقل واللاهوت. أجاب جاليليو: إن إدانة مبدأ حركة

الأرض وثبات الشمس تقوم على أساس ما يرد في كثير من المواضع بالكتاب المقدس حول حركة الشمس وثبات الأرض ... ويقال من الناحية الدينية إن الكتاب المقدس لا يكذب أبدًا، ولكن ما من أحد يمكن أن ينكر أن هذا الكتاب يتسم في كثير من الأحيان بالإبهام، ويصعب اكتشاف معانيه الحقيقية، وأعتقد أننا عند مناقشة مشكلات الطبيعة، لا ينبغي أن نبدأ بالكتاب المقدس، وإنما بالتجارب والبراهين. أدانت محكمة التفتيش جاليليو بالكفر والإلحاد، وحكمت عليه بالإعدام، وأجبر بعد التعذيب -وهو كهل عجوز- أن يكتب اعترافًا علنيًّا بالارتداد عن أفكاره. لم تجيء تبرأة جاليليو من قِبل الكنيسة إلا في عام ١٩٩٢ أي بعد أكثر من ثلاثة قرون من اتهامه.

تمكن الرياضي جوهانس كيبلر Kepler في القرن السابع عشر -مستخدمًا قياسات براهي- من حساب مدرات القطع الناقص Ellipse للكواكب السيارة حول الشمس، فحطم النظرية القديمة التي تذهب إلى أن مسارات الكواكب دائرية الشكل، ووضع معالم علم الفلك الحديث، والقوانين الأساسية للنظام الشمسي. ترك العالم إسحاق نيوتن للعلم معادلات أساسية في علم الحركة تقوده إلى تطوير علم الفلك. تمكن المخترعون في القرنين السابع عشر والثامن عشر من تصنيع عدسات أكبر لمناظيرهم، وأن يصمموا آلات أكثر دقة لقياس الهندسة الكونية. استخدم جوهان هيفيليوس في القرن السابع عشر منظارًا هوائيًّا طوله حوالي ٥٤ مترًا، وقام برسم خريطة للقمر. وفي النصف الثاني من هذا القرن قام كريستيان هويجنز برصد كوكب زحل، وتبين أن الحلقات التي تتكون حوله هي حلقات حقيقية وليست أقمارًا تدور في فلكه. استنبط نيوتن المنظار العاكس، والتي تقوم فيه المرآة المقعرة بتجميع الضوء، مع طلاء سطح المرايا بطبقة رقيقة من المعدن مثل الألومنيوم لمنع ضوء النجوم الذي يسقط عليها من النفاذ خلال الزجاج، ولكن ينعكس الضوء فور سقوطه على سطح المرآة، فتنكسر كل أطوال الموجات المنعكسة من المرآة بنفس المقدار نتيجة لتقوسها. يعتبر القطع المكافئ هو التقوس المطلوب بجمع الأشعة المتوازية الصادرة عن النجم في بؤرة معينة.

في منتصف القرن الثامن عشر استنبط أخصائيو البصريات عدسات مركبة للمناظير الانكسارية، يمكن باستخدامها التخلص من التأثير المنشوري -على الأقل- في أطوال الموجات الضوئية التي تتأثر بها العين أكثر من غيرها.

بدأ الفلكي الأمريكي إليري هيل Hale في عام ١٩٢٨ صنع منظارًا على ارتفاع يزيد عن كيلومتر ونصف فوق سطح البحر على جبل بالومار في كاليفورنيا، ويبلغ قطر المنظار خمسة أمتار. انكسر قالب المرآة الكبرى للمنظار أثناء صب الزجاج المنصهر، على أن قرصًا آخر من الزجاج البيركس قد تم صبه في أواخر عام ١٩٣٤، واستغرق تبريده عامًا كاملاً، ثم نقل القرص الذي بلغ وزنه عشرون طنًا إلى باسادينا لإجراء عملية الشحذ والصقل، والتي انقطعت لظروف الحرب العالمية الثانية، لذا استغرقت هذه العملية إحدى عشرة سنة. انتهت عملية الصقل في عام ١٩٤٧، بعدما قد أزيل من كتلة القرص أكثر من خمسة أطنان من الزجاج، كما استهلك حوالي ٢٨٠ طنًا من مواد الحك والصنفرة في عمليات تشكيل القطع المكافئ المطلوب.

تتمثل طريقة تعيين بعد الأضواء الصادرة عن الأجرام السماوية في عملية هندسية تسمى بالاختلاف الظاهري، أو اختلاف البعد الظاهري. والاختلاف الظاهري هو قياس لمقدار حركة الجرم السماوي الظاهرة بالنسبة إلى ما وراءه نتيجة رصدها من نقطتين مختلفتين. ويمكن لأي إنسان أن يقدر اختلاف البعد الظاهري لأي شيء قريب منه مثل شمعة على مائدة بالنسبة إلى الحائط بمجرد أن ينظر إليه مرة بإحدى عينيه ثم مرة ثانية بالعين الأخرى. وبنفس الطريقة يستطيع الفلكي أن يرى اختلاف البعد الظاهري لكوكب سيار برصده بالنسبة إلى ما وراءه من النجوم في أوقات مختلفة في ليلة واحدة، حيث إن حركة الأرض تساعد في نقل المنظار لعدة آلاف من الكيلومترات إلى نقطة رصد جديدة، بواسطة هذه الطريقة أمكن لعلماء الفلك قياس الاختلاف الظاهري لما يقرب من ستة آلاف من النجوم، برصدها خلال فصلين متقابلين من فصول السنة حيث تكون حركة الأرض حول الشمس قد نقلت المنظار في الفضاء عبر ٢٩٨ مليون كيلومتر. يعد أقرب النجوم من الأرض لدرجة

كبيرة، حتى إن خط القاعدة الذي يستخدم لقياس النجوم بطول ٢٩٨ مليون كيلومتر، يعتبر رغم اتساعه قصيرًا جدًّا. توصل الفلكيون إلى أن التغيير في حركة نجم (٦١ الدجاجة) وهو يعتبر واحد من أقرب النجوم إلى الأرض هو زاوية لا تزيد عن ٠.٣ من الثانية القوسية، أي ثلاثة أعشار جزء من ستين جزء من ستين جزء من ٣٦٠ درجة من الدائرة الكاملة. معنى هذا أن النجم يبعد عن الأرض مسافة قدرها ١٠٤ بلايين من الكيلومترات، أي حوالي ١١ سنة ضوئية، على اعتبار أن السنة الضوئية هي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة وتقدر بنحو ٩،٦ بليون من الكيلومترات.

إذا كان قد تم قياس نجم (٦١ الدجاجة) في عام ١٨٣٨، فإن أقرب نجم لمجموعتنا الشمسية وهو (قنطورس) قد تم اكتشافه بواسطة توماس هندرسون بعد ذلك بعدة شهور، ولا يزيد بعد هذا النجم عن ٤.٣ سنة ضوئية. بعد ذلك ببضعة شهور اكتشف الروسي فردريك ستروف بعد نجم (النسر الواقع) والذي يبلغ بعده ٢٧ سنة ضوئية. وجد علماء الفلك أنه إذا زادت الأبعاد عن ٤٠٠ سنة ضوئية فإن وسيلة القياس بواسطة الاختلاف الظاهري تصبح غير ذات جدوى. توصل علماء الفلك إلى أن قياس الأبعاد يتجاوز مدى الاختلاف الظاهري، بواسطة وسائل أخرى تعتمد على خصائص أخرى للضوء. كشف ضوء النجوم التي تقع في مدى اختلاف ظاهري أن بعض النجوم ينتمي إلى بعض فئات معينة يسهل التعرف عليها، وهي قربها من المنظومة الشمسية أو بعدها عنها، وسرعة دوران النجوم حول نفسها، ودرجة حرارة سطوحها، وقوة مجالها المغناطيسي، وكمية الغاز الغير مرئي والذي يتحرك في الفضاء بينها وبين الأرض. في نفس العام الذي اخترع فيه المطياف تم عرض ألواح فوتوغرافية لضوء النجوم، وسرعان ما حل التصوير الفوتوجرافي Photography، والألواح الفوتوجرافية -بعد ذلك- محل عيون الفلكيين كوسيلة الرصد الأساسية، إن اللوح الفوتوجرافي يجمع الضوء بطريقة تراكمية، بمعنى أن تعريضه لضوء النجوم لمدة ١٠ ثوان قد يسفر عن وجود ٢٠ نجمًا متوسط اللمعان، أما عرضه لمدة ١٠ ساعات فسيظهر ألفين أو أكثر من النجوم التي يبلغ من خفوت ضوئها أن العين المجردة لا

تستطيع رؤيتها حتى إذا استعانت بأقوى مناظير العالم. أضيفت تحسينات فنية كثيرة على عملية التسجيل الفوتوجرافي، مثل المرشحات الضوئية، ومواد تحميض جديدة، وأجهزة إضاءة متقطعة لمقارنة ألواح تصور أجزاء من السماء أخذت في أوقات مختلفة بحيث تسهل كشف أي تغيرات قصيرة أو طويلة المدى، ووسائل مسح إليكترونية لاستعراض مجموعة من الصور واستخراج الصور التي تشتمل على شيء جديد من بينها، وبرامج للحاسب الإليكترونية تسمح للمناظير بمراقبة بعض النجوم المعينة عن طريق جهاز تحكم آلي.

إذا كان فاراداي وماكسويل قد توصلا إلى وجود موجات إشعاعية خارج مجال الطيف الضيق في الضوء المرئي، إلا أن المهندس الأمريكي كارل جانسكي كان أول من خاض في هذا المجال، بمسح سماوات الكون بواسطة هذه الموجات. كان جانسكي يعمل في معامل شركة بل للتليفونات في بدايات الثلاثينيات من القرن العشرين، وكلف بدراسة تشويش غير واضح السبب في التوصيلات اللاسلكية عبر المحيط للتخفيف من حدته. حين تعذر على جانسكي العثور على مصدر التشويش، بنى هوائيًّا لا سلكيًّا بلغ طوله حوالي ١٨ مترًا، ثم قام بتجميع وتسجيل إشارات الراديو التي كان يستقبلها الهوائي. بعد أن قسم جانسكي التشويش الصادر من ذبذبة موجة هامة من الموجات إلى ثلاث فئات وهي: دوي رعد قريب، وهدير رعد بعيد، وهمس ثابت من الفضاء الخارجي، نشر نتائج أبحاثه في عام ١٩٣٢. لم يكن ما رصده جانسكي من همس سوى الصوت الذي يصدر من نواة مجرتنا «الطريق اللبني». استكمل أبحاث جانسكي مهندس أمريكي آخر وهو جروت ريبر، الذي فحص تقارير جانسكي ثم أخذ في عام ١٩٣٧ باستراق السمع لأصوات الكون مستعينًا بطبق معدني قطره تسعة أمتار قام بتجميعه في حديقة منزله. استطاع ريبر ليس فقط أن يؤيد ما سبق لجانسكي التوصل إليه من أن نواة مجرتنا التي لا يمكن رؤيتها بالمناظير البصرية بسبب سحب الغبار الكوني التي تحجب الكون هي مصدر الإشارات، بل أن يميز في السماء عددًا آخر من النقط تتميز دائمًا بدرجة ثابتة من

اللمعان الحقيقي. وعندما يعثر الفلكيون على نجوم أخرى من نفس النوع في أبعاد تتجاوز المدى الذي يمكن قياسها وباختلاف البعد الظاهري، فإنه في استطاعتهم أن يقدروا أبعادها من واقع النقصان في درجة لمعانها. أمكن بواسطة هذه الطريقة قياس أبعاد كونية تقدر بملايين السنين الضوئية.

اقتضى تصنيف النجوم لأجل تقدير أبعادها وحركاتها وكتلتها استحداث مفاهيم جديدة لخصائص الضوء. إذا كان نيوتن قد توصل أن ضوء الشمس الأبيض إذا مر في منشور زجاجي فإنه يكون قوس قزح تظهر فيه جميع الألوان، فإن أخصائي البصريات الألماني جوزيف فون فراونهوفر Fraunhofer قد توصل في عام ١٨١٤ إلى أن ضوء الشمس لا يكون قوس قزح كامل، بل تتخلله بدلاً من ذلك مئات من الخطوط القاتمة. حدد فراونهوفر مواقع أكبر عدد استطاع أن يميزه من هذه الخطوط -وهي الآن تحصى بالمئات- ولكنه لم تكن لديه فكرة عما ترمز إليه تلك الخطوط. مضت أربعون عامًا قبل أن تثبت الدراسات والتجارب أن الضوء الذي تشعه العناصر العادية حين ترفع درجة حرارتها حتى تغدو بيضاء في المعمل، تظهر في طيفها خطوط لامعة، وأن تلك الخطوط تطابق تمامًا الخطوط القاتمة التي اكتشفها فراونهوفر. أصبحت هذه الظواهر معروفة في ضوء النظرية الذرية، فكل عنصر -أو كل نوع من أنواع الذرة- لا يمكنه أن يشع أو يمتص الطاقة إلا عند أطوال موجات معينة يمليها تكوينه الذري. وفي طيف الشمس تحدث الخطوط المظلمة نتيجة لفعل عناصر في جو الشمس تمتص الإشعاع عند أطوال موجاتها المناسبة. من الخصائص الأخرى للضوء وجود فوق ألمع الموجات الزرقاء المرئية في الطيف موجات أقصر غير مرئية، وهي الموجات فوق البنفسجية والأشعة السينية وأخيرًا أشعة جاما المتناهية الصغر والتي يبلغ طول الموجة فيها جزءًا من البليون من السنتيمتر. كما أن هناك دون أقتم الأشعة الحمراء المرئية، أشعة أطول هي الأشعة فوق الحمراء غير المرئية، والموجات الدقيقة وموجات اللاسلكي، وأخيرًا النبضات الدقيقة التي قد تبلغ أطوال موجاتها ملايين الكيلومترات.

تمخض التطور الكبير في علم الفيزياء، عن فرع جديد أطلق عليه الطبيعة الفلكية. من خلال هذا الفرع اخترعت أجهزة التحليل الطيفي أو المطياف Spectroscope في عام ١٨٥٠، والتي تنشر على شكل مروحي أشعة النجوم التي تشبه ذيل الطاووس. كان نشر الأشعة يتم في النماذج الأولى بواسطة المناشير الزجاجية، ثم استخدمت بعد ذلك المحزوزات الضوئية التي تتكون من خطوط متقاربة جدًا وتحز على الزجاج. من خلال هذه الأجهزة أمكن تفتيت ضوء الكون الأبيض إلى أقواس قزح، وتكشف الخطوط الموجودة عليه كنه الذرات التي تنبض على بعد ملايين الكيلومترات، أمكن أيضًا اكتشاف أن خطوط الطيف تنطوي على كميات مذهلة من المعلومات الأخرى. بدأ جان أورت وزملاؤه في مرصد جامعة ليدن في هولندا بتركيب مزيدًا من الهوائيات في أنحاء مختلفة من العالم لتجميع معلومات عن الكون الفسيح، بواسطة فرع جديد وهو علم الفلك الراديوي Radio Astronomy.

أماط علم الفلك الراديوي اللثام عن كثير من الظواهر التي لا تستطيع المناظير العادية الجامعة للضوء أن تحيط بها، مثل سحب الغاز غير المضيئة والتي تتخلل المسافات بين النجوم، والمجرات البعيدة إلى درجة أنها قد لا تكتشف إلى عن طريق اللاسلكي. ومع ذلك فإن هذه الآفاق الجديدة التي فتحها علم الفلك الراديوي لا تمثل إلا جزءًا من أجزاء كثيرة غير مرئية من الطيف الكهرومغناطيسي، فموجات اللاسلكي مثل موجات الضوء في الفلك التقليدي من حيث إنها تصل إلى الأرض لأن الجو المحيط بالأرض يسمح بنفاذها. في الحقيقة يشع الكون عشرات من الموجات على امتداد الطيف كله، إلا أن جو الأرض يشكل حاجزًا غير شفاف لا يسمح بنفاذ أكثرها. ولكي يرسم الإنسان خريطة للكون معتمداً على هذه الأضواء الكثيرة، بدأ في صنع مناظير من نوعية جديدة تعمل فوق الغلاف الهوائي المحيط بالأرض. أطلقت بالونات بلغ ارتفاعها ٢٥ كيلو مترًا لتصوير الشمس في الضوء الفوق بنفسجي، كما أغرقت الصواريخ المجهزة للضوء فوق البنفسجي باللمعان الأزرق للنجوم، ووضع

الصاروخ اكسبلورر في المدار منظارًا لأشعة جاما يسمح بالنظر إلى مركز مجرتنا في موجات عالية الذبذبة صادرة من النوى الذرية. أصبح يوجد الآن مراصد تدور في مدارات فلكية، تسجل وترسل المعلومات عن الكون الفسيح على حاسبات إليكترونية موجودة على سطح الأرض.

بعد وقت قصير من صياغة أينشتين لنظرية النسبية العامة، وجد عالم الفلك الألماني كارل تشيلد حلا لمعادلات مجال النسبية العامة الذي يمثل ثقب أسود Black Hole. أوضح تشيلد أنه إذا تركزت كتلة نجم في منطقة صغيرة، يصبح مجال الجاذبية عند سطح النجم قويًّا لدرجة أن حتى الضوء لا يستطيع أن يفلت من جاذبيته، وهذا ما يسمى بالثقب الأسود. ظل معظم الفيزيائيين -بما فيهم أينشتين- زمنًا طويلاً يتشككون في وجود هذه التكوينات المتطرفة من المادة في الكون. تحقق العلماء بعد ذلك من أنه عندما يفقد النجم وقوده النووي، وله ثقل كاف وليس له دوران، فإن هذا النجم مهما كانت بنيته أو شكله، سوف يتقلص إلى ثقب أسود، له من الاستدارة تصل إلى حد الكمال. يعتمد نصف قطر أفق حدث الثقب الأسود على كتلته فقط، ويمكن حساب نصف القطر من المعادلة:

$$R = 2 * G * M/C2$$

حيث R نصف قطر النجم
G ثابت نيوتن
M كتلة النجم
C سرعة الضوء

إن ثقبًا أسود له كتلة مماثلة للشمس، سيكون له نصف قطر في حدود ثلاثة كيلومترات ونصف لا غير. أطلق العالم الأمريكي جون هويلر في عام ١٩٦٩ مصطلح الثقب الأسود على تقلص المادة. اكتشفت الكويزرات في عام ١٩٦٣، وأدى ذلك إلى

إجراء الأبحاث النظرية عن الثقوب السوداء، وكذلك في مجال إنشاء المزيد من المراصد للكشف عنها.

يبين التحليل التالي تكوين الثقوب السوداء وخاصية المفردة: تتشكل النجوم من سحب من الغاز والغبار، وعندما تنكمش سحب الغاز بتأثير ما لها من جاذبية، يرتفع ضغطه وبالتالي درجة حرارته. نتيجة للارتفاع في درجات الحرارة تبدأ علمية الاندماج النووي ليتحول الهيدروجين إلى هيليوم. تؤدي الحرارة المتولدة عن هذه العملية إلى توليد ضغط يدعم النجم ضد ماله من جاذبية وتوقف انكماشه لحجم أصغر. يظل النجم في هذه الحالة لزمن طويل وهو يحرق الهيدروجين ويشع الضوء في الفضاء. تحرق النجوم ذات الكتلة الكبيرة -الأكبر من الشمس- ما فيها من هيدروجين ليتحول إلى هيليوم بسرعة أكبر مما يحدث في الشمس، ثم تبدأ في حرق ما فيها من هيليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون والأكسجين. لا تطلق التفاعلات الكيميائية الأخيرة الكثير من الطاقة، وبالتالي تفقد النجوم حرارتها والضغط الحراري الذي يدعمها ضد جاذبيتها، وعليه يأخذ حجمها في الصغر. إذا كانت كتلة النجم أكثر مما يقرب من ضعف كتلة الشمس، فلن يكفي الضغط الحراري لوقف الانكماش، ويتقلص النجم على حجم ما يقرب من الصفر، وإلى كثافة تقارب اللانهائية، ليشكل ما يسمى بالمفردة Singularity، وهي نقطة في المكان/الزمان حيث يصبح انحناء المكان/الزمان لا متناهيًا. وتذهب نظرية المفردة إلى أن المفردة هي النقطة التي تنهار عندها النسبية العامة، وتتواجد هذه النقطة في ظروف خاصة مثل بداية الكون.

علوم الفضاء

تعرف علوم الفضاء أو الفضائيات Astronautics بأنها مجموعة المعارف التي تستخدم في إطلاق مركبة فضائية من الأرض إلى الفضاء والتحكم في مسارها، والاتصال بها ومتابعتها في الفضاء أو في مدار محدد لها. تعتمد علوم الفضاء على مجموعة من العلوم الأساسية والفرعية مثل الفيزياء والكيمياء والأحياء، والهندسة والميكانيكا والاتصالات، وغيرها من العلوم الأخرى المتخصصة، مثل تصميم

وتصنيع القاذفات والصواريخ التي تحمل المركبات الفضائية إلى المدارات التي تحلق فيها.

يحكم حركة أي مقذوف قانون القوة الطاردة المركزية، والذي يعبر عن القوة الطاردة المؤثرة في الجسم المقذوف بالعلاقة (ق= ك ع٢/نق)، أو أن القوة المؤثرة في الجسم تساوي كتلته مضروبًا في مربع السرعة ومقسومًا على نصف قطر الدائرة التي يدور فيها. فإذا ربطنا جسم من المعدن أو الحجر مثلاً في خيط طويل وأدرناه بسرعة كبيرة فيمكننا الإحساس بشد في الخيط وأن الحجر يريد أن ينطلق بعيدًا إلا أن الخيط يمسكه ويمنعه من الانفلات والانطلاق. تتواجد في هذه الحالة قوتين، الأولى هي قوة الطرد للخارج، تقابلها القوة الثانية وهي قوة الجذب في الخيط. يمكن تطبيق قانون القوة الطاردة المركزية على الأجسام الفضائية بإعطاء الجسم المقذوف سرعة أفقية في اتجاه موازٍ لسطح الأرض، وعند وصول السرعة إلى مستوى معين فإن المقذوف يقع تحت تأثير قوة طاردة إلى الخارج تميل إلى دفعه باستمرار إلى أعلى. تتوقف قيمة هذه القوة الطاردة على كتلة الجسم ومقدار السرعة المغذاة للمقذوف، وكذلك على بعده عن مركز الأرض. إن تواجد أي جسم قرب سطح الأرض يقع تحت تأثير الجاذبية الأرضية، وعليه فإن المقذوف المتحرك أفقيًا بسرعة كبيرة يقع تحت تأثير قوتين متضادتين، هما قوة الجاذبية والقوة الطاردة الناشئة عن سرعته. إذا كانت سرعة المقذوف كبيرة بدرجة كافية بحيث ينتج عنها قوة طاردة تعادل قوة الجاذبية فإن الجسم يظل يدور في مسار دائري حول الأرض، وتسمى هذه السرعة بالسرعة المدارية Orbital Velocity. أما إذا كانت سرعة المقذوف أقل من السرعة المطلوبة فإنه يسقط نحو الأرض. وفي حالة تجاوز سرعة المقذوف السرعة المدارية بدرجة كافية فإنه يمكن أن ينطلق مفلتًا من نطاق الجاذبية الأرضية، وتسمى تلك السرعة بسرعة الإفلات Escape Velocity، وبين السرعة المدارية وسرعة الإفلات فإن المقذوف يتخذ مدارًا بيضاويًا يتوقف شكله على السرعة التي يتحرك بها.

يمكن تحديد السرعة اللازمة لبقاء المقذوف في مدار دائري يسمى السرعة المدارية

الأولى (ع١) وهي السرعة التي تنتج عنها قوة طاردة تعادل الجاذبية الأرضية والتي تعين من العلاقة:

ع١ = √(ى/نق)

أي أن السرعة المدارية الأولى تساوي الجذر التربيعي لحاصل قسمة الرقم الثابت (ى) على نصف قطر الكرة الأرضية (نق)، حيث (ى) يمكن تعيينه من المعادلة ى=م×ج، حيث إن (م) هي كتلة الأرض، و (ج) هو ثابت الجاذبية الأرضية، وهو معدل تغير سرعة جسم يسقط حرًّا تحت تأثير الجاذبية الأرضية. وعند خط الاستواء فإن نصف قطر الأرض يساوي ٦٣٧٨ كيلومتر، والثابت (ى) يعادل ٣٩٨٦٠٠.٤ كم٣/ث٢، وبذلك تعادل السرعة المدارية الأولى عند خط الاستواء ٧.٩ كيلومتر/الثانية نتيجة لوجود مقاومة للهواء داخل الغلاف الجوي لكوكب الأرض، فيلزم حمل المكوك الفضائي أو سفينة الفضاء بواسطة قاذف/ صاروخ إلى ارتفاع معين حيث يكون سمك الغلاف الجوي ضئيلاً حتى لا يحدث مقاومة كبيرة، ثم يعطي سرعة أفقية ليظل يدور في مداره المحدد أو يخرج إلى الفضاء الخارجي. تبدأ مقاومة الهواء في النقصان بدرجة كبيرة عند ارتفاع ٢٠٠ كيلومتر عن سطح الأرض، وعند هذا الارتفاع يمكن إعطاء الجسم المقذوف مدارًا دائريًّا بإعطائه سرعة أفقية تبلغ ٧.٨ كيلو متر في الثانية. وحتى يستطيع القمر الصناعي أو الجسم المقذوف الإفلات من جاذبية الأرض يجب أن تبلغ سرعة الإفلات حوالي ١١.٠ كيلومتر في الثانية على ارتفاع ٢٠٠ كيلو متر من سطح الأرض.

تنقسم المركبات الفضائية إلى خمسة أنواع حسب طبيعة المهام التي تستند إليها، وهي الأقمار الصناعية Satellites وهي مركبات تدور حول الأرض على ارتفاع يتراوح بين حوالي ١٧٠ كيلومتر إلى عدة آلاف من الكيلومترات وتؤدي مهامًّا معينة خاصة بكوكب الأرض مثل الاستطلاع والاتصالات Communications والأرصاد الجوية. أيضًا يوجد المسبرات أو المجسمات الفضائية الغير مأهولة Unmanned Space

Probes وهي مركبات فضائية تترك جاذبية الأرض متجه إلى القمر أو إلى كوكب آخر لإجراء تجارب علمية والحصول على معلومات. كما توجد المركبات المأهولة Manned Space Vehicles وتمثل ذروة التقنية في صناعة الفضاء، والمركبات الغير مأهول للقيام بمهام معينة قد تشكل خطورة على الإنسان إذا قام بها. وأخيرًا توجد محطات فضاء Space Stations وتستخدم لدراسة إمكانية استيطان الإنسان للفضاء.

تحمل الأقمار الصناعية والمسابر الفضائية إلى مداراتها خارج مجال الجاذبية الأرضية قاذفات إطلاق Launch Boosters، أو مركبة إطلاق Launch Vehicles، وهي منظومة من الصواريخ المركبة ذات مرحلة واحدة أو أكثر، وقد تشمل صواريخ ذات وقود صلب، أو ذات وقود سائل وهي التقنية الأحدث والتي تعطي قوة دفع أكبر. تتكون قاذفة الإطلاق في العادة من صاروخ واحد ضخم بصفة أساسية وعدد آخر من الصواريخ الأصغر Booster Rockets والتي يتم احتراقها في مراحل متتالية. يمثل أداء الوظائف البيولوجية الطبيعية صعوبة لرواد الفضاء، لأن الجسم البشري مكيف لأداء هذه الوظائف في مناخ الجاذبية الأرضية، ويتطلب الخروج عن نطاق الجاذبية تصميم أجهزة خاصة لضمان أداء هذه الوظائف الطبيعية في صورة ميسرة وسلسة. تتعرض منظومة غزو الفضاء إلى مشكلات أخرى مثل حماية رواد الفضاء من الأشعة الكونية، وحماية المركبة الفضائية من درجات الحرارة الشديدة التي تتعرض لها عند العودة والاحتكاك مع الغلاف الجوي للأرض، ولذلك تغطي مركبة العودة بمواد حرارية عازلة لحماية المركبة ورواد الفضاء.

الخروج للفضاء

بدأت رحلة الفضاء، خارج مجال كوكب الأرض في ٤ أكتوبر من عام ١٩٥٧، بإطلاق الاتحاد السوفيتي أول قمر صناعي تحت اسم سبوتنيك، ليدور حول الأرض دورة كل ٩٦ دقيقة، لمدة ثلاثة أسابيع، كان القمر عبارة عن كرة من الألومونيوم قدرها ٥٨ سنتيمتر، وتزن ٨٤ كيلوجرامًا. وكان الهدف الأساسي من القمر مجرد الخروج للفضاء وإجراء قياسات علمية محدودة. وفي ٣ نوفمبر من نفس العام، أطلق

الاتحاد السوفييتي سبوتنيك-٢ حاملاً أول كائن حي من كوكب الأرض إلى الفضاء الخارجي، هو الكلبة لايكا.

في ٣١ يناير ١٩٥٨ تم إطلاق أول قمر صناعي أمريكي على متن صاروخ من طراز جوبيتر، وسمي القمر إكسبلورر-١ ، أي المستكشف. كان القمر صغير الحجم، ذا شكل مخروطي ويزن ١٤ كيلوجرامًا، إلا أنه قد مكن العلماء من إجراء العديد من القياسات التي أدت إلى إثبات وجود حزامين مغناطيسيين سميا حزامي فان آلن، وهما نطاق متأين من الغلاف الجوي يمتد من ٢١٠٠ كيلومتر حتى ١٩٥٠٠ كيلومتر، وكان معروفًا تأثيرهما على الاتصالات اللاسلكية من قبل، ولكن لم يتم التأكد من وجودهما إلا من خلال قياسات القمر الأمريكي. وفي ١٧ مارس ١٩٥٨ ، أطلقت الولايات المتحدة فانجارد-١ ، وهو قمر صغير بقطر ١٦ سنتيمترًا، ويزن كيلو جرامًا ونصف، ويحمل حساسات حرارية Thermal Sensors، وجهازين للإرسال ليمكن القاعدة الأرضية من متابعة مساره. وفي ١٥ مايو ١٩٥٨ أطلق الاتحاد السوفيتي القمر الثالث من سلسلة سبوتنيك، وكان يزن ١,٣ طن، والذي ظل في مداره قرابة العامين.

بدأ عصر ارتياد الإنسان للفضاء في ١٢ أبريل من عام ١٩٦١. كان السوفيتي يوري جاجارين Gagarin، هو أول رائد من رواد الفضاء Astronauts، بقيادة مركبة الفضاء فوستوك-١ ، في رحلة عبارة عن دورة واحدة حول الأرض استغرقت ٨٩ دقيقة. تكونت فوستوك-١ من جزأين أساسيين، وهما وحدة الأجهزة وكبسولة العودة، وهي عبارة عن كرة قطرها ٢,٥ متر وبداخلها كرسي رائد الفضاء، ومزودة بجهاز للقذف إلى خارج الكبسولة. كانت الكبسولة مزودة بثلاث فتحات للرؤية وكاميرات تليفزيونية، ولوحة التحكم، بالإضافة إلى أجهزة حفظ الحياة والطعام والمياه، وكان إجمالي وزن الكبسولة ٤٧٢٥ كيلوجرامًا. بعد انتهاء الرحلة المقررة للكبسولة، تم إخراج الكبسولة عن مدارها بواسطة صواريخ صغيرة مثبتة بها، دفعت الكبسولة نحو تأثير جاذبية الأرض في رحلة العودة التي استغرقت حوالي ثلث ساعة، ثم قفز جاجارين من كبسولته بباراشوت من ارتفاع سبعة كيلومترات بعد ١٠٨ دقيقة

من لحظة الإطلاق، وكان هذا أول خروج للإنسان عن نطاق الجاذبية الأرضية.

تم إطلاق فوستوك-٢ حاملة رائد الفضاء السوفيتي الثاني تيتوف في ٦ أغسطس عام ١٩٦١، في رحلة استمرت ٢٥ ساعة و ١٨ دقيقة، أكملت فيها سبع عشرة دورة حول الأرض، كانت فالنتينا تيريسكوفا السوفيتية هي أول رائدة فضاء في رحلتها التي تمت في يونيو ١٩٦٣ على متن سفينة الفضاء فوستوك-٦، والتي كانت آخر سفينة من سلسلة فوستوك. جاءت الخطوة التالية في زيادة عدد الرواد والمدة التي يقضونها في الفضاء. تكون برنامج فوسخود السوفيتي من مهمتين، أولاهما فوسخود-١ في أكتوبر ١٩٦٤، والتي حملت ثلاثةرواد، أما مهمة فوسخود-٢ في مارس ١٩٦٥ فكانت لخروج رواد الفضاء من الكبسولة إلى الفضاء. أطلق الاتحاد السوفيتي أول مركبة في برنامج سويوز Soyuz في إبريل ١٩٦٧. تتكون مركبة سويوز من ثلاثة أجزاء: جزء علوي للبقاء على المدار، وجزء أوسط لوجود رواد الفضاء ويعودون فيه للأرض، وجزء سفلي يحتوي على الأجهزة. شمل البرنامج الفضاء الأمريكي المأهولة في مراحله الأولى ثلاثة برامج متتابعة هي: ميركوري Mercury، وجيمني Gemini، وأبوللو Apollo. استمر برنامج ميركوري من عام ١٩٥٨ حتى عام ١٩٩٣، وكان هدفه الأساسي هو وضع الإنسان في الفضاء بغرض دراسة تأثير الفضاء في الوظائف الأساسية للإنسان. كانت أول مهمة في برنامج ميركوري هو إطلاق رائد الفضاء آلان شبرد في مايو ١٩٦١ في الكبسولة فريدم Freedom-7. كان الهدف من برنامج جيمني الذي تم في بداية الستينات من القرن العشرين هو التأهيل للرحلة الكبرى التي كانت تعد لها وكالة الفضاء الأمركية ناسا NASA في نهاية نفس العقد إلى القمر. في ٨ أبريل ١٩٦٤ قامت جيمني ١ بنحو عدد ٦٤ دورة حول الأرض واحتراقها عند العودة، وانتهى البرنامج بقيام جيمني ١٢ بعمل ٥٩ دورة حول الأرض حدث خلالها عملية التحام فضائية وسير الرواد في الفضاء. بدأ برنامج أبوللو مع برنامج جيمني في ديسمبر ١٩٦١، بهدف تطوير تقنيات الفضاء المأهول استعدادًا للهبوط على القمر.

بدأ الاتحاد السوفيتي السباق إلى القمر ببرنامج «لونا» حيث أطلقت أولى كبسولاته لونيك ١ في عام ١٩٥٩، وفي سبتمبر من نفس العام ارتطمت لونيك ٢ بسطح القمر. كانت لونيك ٣ هي أول كبسولة تلتقط صورًا للجانب المظلم من القمر. توالت أقمار لونا حتى وصلت إلى لونا ١٤، وكان من أهم ما كشفته صور لونا ٩ هو أن سطح القمر ليس ترابيًا أو رخوًا أو مفككًا، ولكن يمكن المشي عليه لتماسكه. كان رينجر Ranger هو البرنامج الأمريكي لاستكشاف القمر بمركبات غير مأهولة، والتي حاولت المركبات الخمس الأولى منه أن تهبط برفق على القمر بأجهزة محمية بشكل يمتص جزءًا كبيرًا من الصدمة، ولكن هذه المحاولات فشلت جميعًا وتم التخلي عن الفكرة. وفي بدايات عام ١٩٦٤ بدأت مركبات رينجر في إرسال صور للقمر من ارتفاع أقل من كيلومترين مظهرة تفاصيل فجوات على سطح القمر لا يزيد قطرها على عدة أمتار. وأخيرًا جاء الإنجاز الكبير في ١٦ يوليو ١٩٦٩، حيث خطى الإنسان أول خطواته على سطح القمر.

حمل الصاروخ العملاق ساترن ٥ ـ بطول ١٠٨ متر ـ المركبة الأمريكية نحو القمر. كان الصاروخ ساترن بأطواره المختلفة من تصميم العالم الأمريكي الألماني الأصل فيرنرفون براون، والذي يرجع إليه الفضل في نجاح برنامج الفضاء الأمريكي، خاصة برنامج أبوللو، أما بالنسبة للجانب السوفيتي، فقد كان العالم سيرجي فلوفيتش كورولييف هو رائد منظومة الفضاء السوفيتية. كانت خطة وكالة الفضاء الأمريكية «ناسا» للوصول إلى القمر تتركز في وضع سفينة فضاء رئيسية في مدار حول القمر، تنطلق منها مركبة قمرية صغيرة للنزول برواد الفضاء على سطح القمر والعودة. كان الصاروخ ستارن ٥ مكونًا من عدة مراحل، وكانت المرحلة الأولى مكونة من خمسة محركات ذات وقود سائل من الكيروسين والأكسيجين السائل تعطي كل منها حوالي ٦.٧ مليون نيوتن، وتستطيع هذه المرحلة رفع الصاروخ بحمولته إلى ارتفاع ٦٤ كيلو مترًا فوق سطح الأرض في مدة ٢.٤ دقيقة، ثم تنفصل لتبدأ المرحلة الثانية. تتكون المرحلة الثانية من خمسة محركات من طراز J-2 وهو محرك قوي يستخدم الهيدروجين

والأكسجين السائلين. يسمى هذا النوع من المحركات «فائقة التبريد» Cryogenic لأن وقودها يحتاج إلى حفظ في درجات حرارة شديدة الانخفاض، فيخزن الأكسجين السائل عند درجة -١٨٢ مئوية، ويخزن الهيدروجين السائل عند درجة -٢٥٢مئوية. كانت قوة الدفع التي يمكن الحصول عليها من المحرك J-2 تصل إلى ٤٠٠ كيلو نيوتن لكل محرك بإجمالي قوة دفع ١،٦ ميجا نيوتن، والتي كانت كافية للوصول بالمرحلة الثانية إلى سرعة ٢٢،٤ ألف كيلومتر/ ساعة وارتفاع ١٩٢ كيلومتر بعد حوالي ست دقائق. أما المرحلة الثالثة فتكونت من محرك واحد من طراز J-2، وهذه المرحلة هي التي تضع الصاروخ في مداره حول الأرض، ثم تقوم بعد ذلك -بعد إعادة إشعالها- بالإسراع بالمركبة الفضائية نحو مدارها القمري.

وضعت وكالة الفضاء الأمريكية «ناسا» برنامجًا لاستكشاف كواكب المجموعة الشمسية القريبة من كوكب الأرض سمي ببرنامج مارينر Mariner، كان هذا البرنامج الذي تم تنفيذه في الفترة من ١٩٦٢ إلى ١٩٧٣، يهدف إلى إرسال مركبات فضائية مزودة بأجهزة التصوير والاستشعار لتصوير سطحي كوكبي المريخ والزهرة (جاء كوكب عطارد بعد ذلك) وقياس مكونات جوهما. كان العلماء يعتقدون في احتمال وجود حياة بدائية على سطحهما قد تساعد على الوصول إلى نشأة الحياة على كوكب الأرض. كان المخطط أن يرسل مركبة الفضاء مارينر والتي سميت مسبرًا أو مجسًّا فضائيًّا Space Probe، يسبح في الفضاء بهدف جمع معلومات عن مكوناته دون أن يهبط على سطح كوكب معين. تحدد البرنامج في إطلاق مسبرين فضائيين أحدهما إلى المريخ والآخر إلى الزهرة. تبلغ المسافة بين مدار كوكب المريخ ومدار كوكب الأرض نحو ١٢٠ مليون كيلو متر، وتقطع المركبة الفضائية المسافة على قوس يصل بين المدارين ويتم اختيار زمن الإطلاق في الوقت الذي يكون فيه الكوكبان أقرب ما يمكن لبعضهما، وتستغرق الرحلة في هذه الحالة سبعة شهور ونصف الشهر. أما رحلة كوكب الزهرة فقد كانت أقصر مدة بنحو النصف، ولكن المسار كان أطول من نصف المسار إلى كوكب المريخ.

فشلت رحلة مارينر ١، ومرت مركبة مارينر ٢ بجوار كوكب الزهرة في ديسمبر ١٩٦٢، وكان أهم اكتشافاتها أن سطح الزهرة أكثر سخونة مما كان معتقدًا، إذ بلغت درجة حرارة السطح نحو ٤٠٠ درجة مئوية. في يوليو ١٩٦٥ مرت المركبة مارينر ٤ بجوار كوكب المريخ واستطاعت التقاط صور تليفزيونية لسطحه أظهرت بعض الحفر الكونية الناتجة عن ارتطام أجسام سماوية، ولكنها لم تجد أي دليل على وجود أثر للحياة على الكوكب. كانت مارينر ٩ والتي أطلقت في مايو ١٩٧١ من أهم الرحلات إلى كوكب المريخ، فقد ظلت تطلق معلومات هامة لنحو عام كامل. التقطت المركبة عددًا كبيرًا من الصور التي أوضحت تضاريس كوكب المريخ بشكل تفصيلي، وأظهرت وجود عدد من الحفر البركانية الضخمة وأودية وأخاديد عميقة مما جدد الاعتقاد بوجود أنهار كبيرة في فترة سابقة من تاريخ الكوكب، وبالتالي احتمال وجود آثار لحياة عليه. كانت مارينر ١٠ والتي أطلقت في نوفمبر ١٩٧٣، وهي أول رحلة لاستكشاف كوكبين في رحلة واحدة وهما الزهرة وعطارد، وهي أيضًا أول رحلة يستخدم فيها المجال الجاذبي لكوكب الزهرة في قذف المركبة الفضائية نحو كوكب آخر وهو عطارد.

أعد الاتحاد السوفيتي في عام ١٩٧١ ثلاث مركبات فضائية من برنامج «مارس» للهبوط على كوكب المريخ. فشل الإطلاق الأول، بينما نجح الإطلاقان الثاني والثالث في ١٩، ٢٨ من شهر مايو. كانت المركبة مكونة من جزأين وهما مركبة مدارية وأخرى للهبوط، بحيث تنفصل مركبة الهبوط تلقائيًا عن المركبة المدارية بمجرد وصولها إلى المدار. تعرضت المركبة الثانية لعاصفة رملية كانت تحيط بالمريخ وانقطع الاتصال بها. أما المركبة الثالثة فقد هبطت على سطح كوكب المريخ بمظلة واستقرت، وبدأت الإرسال لمدة عشرين دقيقة فقط ثم انقطع لأسباب غير معروفة. أرسل الاتحاد السوفيتي أربع مركبات فضائية أخرى من خلال برنامج «مارس»، ولكن فشلت جميعها في تحقيق المهام الموكلة إليها. بعد عدة أعوام كرر الاتحاد السوفيتي المحاولة بإطلاق السفينتين فوبوس (١، ٢) عام ١٩٨٨، وكان مصير أولهما الفشل، أما

الثانية فقد تجمدت أجهزتها في الفضاء بعد عدة شهور من إطلاقها.

أظهر تحليل نتائج مارينر ٩ التي دارت حول المريخ في مدار على ارتفاع يتراوح بين ١٣٠٠ إلى ١٨ ألف كيلو متر أن الكوكب يمر بدورات من الجفاف والرطوبة مدة كل منها نحو خمسين ألف سنة، وأن الفترة الحالية هي فترة جفاف. شك العلماء في أن مظاهر الحياة قد تكون مختفية تحت سطح الكوكب في انتظار دورة جديدة. في شهري أغسطس وسبتمبر من عام ١٩٧٥، أطلق الأمريكان سفينتي الفضاء فايكنج ١، ٢ والتي هبطت الأولى على سطح المريخ في ٢٠ يوليو ١٩٧٦ في وادي كريس، والثانية في وادي يوتونيا في ٣ سبتمبر من نفس العام. كان هدف فايكنج البحث عن الحياة على الكوكب، وتم إجراء بعض التجارب البيولوجية التي لم تتوصل إلى وجود أي مواد كربونية في التربة، مما يستبعد احتمال وجود حياة، إلا أن القياسات قد أثبتت أن درجة حرارة الكوكب البارد تتراوح بين -١٤، -١٢٠ درجة مئوية، كما ثبت أن الغطاء القطبي هو من الماء المتجمد وليس من ثاني أكسيد الكربون كما كان متوقعًا من قبل. استمرت المركبتان في إرسال الصور من المريخ حتى نوفمبر ١٩٨٢.

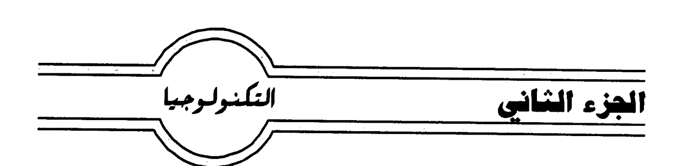
كان الهدف التالي بعد المريخ للاتحاد السوفيتي هو كوكب الزهرة. من خلال برنامج "فينيرا" -اسم الكوكب باللغة الروسية أو فينوس Venus باللغة الإنجليزية- تم إرسال ١٦ مركبة فضائية. كانت أهم نتائج الرحلة فينيرا ٧ المعلومات التي أرسلتها عن درجة الحرارة التي وصلت إلى ٤٧٥ درجة مئوية، أما الضغط فكان مقداره تسعين مرة مقدار الضغط الجوي على الأرض. أطلقت فينيرا ١٣، ١٤ في عام ١٩٨١، وأرسلتا صورًا ملونة لسطح الكوكب، كما استطاعتا الحصول على عينات من صخور السطح وتحليلها. لم تهبط مركبتا فينيرا ١٥، ١٦ على سطح الكوكب بل دارتا حوله في مدار بيضاوي تصل أدنى نقطة فيه إلى ارتفاع ألف كيلو متر، وخلال هذه الدورات التي استمرت عامًا كاملاً أمكن رصد ١٢٠ مليون كيلو متر مربع من سطح كوكب الزهرة، وبذلك تم رسم أول خريطة تفصيلية لجزء كبير من الكوكب.

أطلقت الولايات المتحدة في عام ١٩٧٨ مسبرين فضائيين لاستكشاف كوكب الزهرة، وسمي هذا البرنامج بيونير-الزهرة Pioneer - Venus. بلغت أدنى نقطة للمركبة الفضائية التي دارت حول الكوكب حوالي ١٥٠ كيلو متر فقط من السطح، بينما كانت أقصى نقطة في المدار على بعد حوالي ٧٧ ألف كيلو متر. وقد تم اختيار هذا المدار حتى يتيح للمركبة دراسة خصائص الكوكب من قريب جدًّا من السطح، ومن مسافة بعيدة توفر النظرة الشاملة له. حملت المركبة الفضائية الثانية أربعة مسابر فضائية أطلقت جميعًا عند وصول المركبة إلى مدار الكوكب لتخترق الغلاف الجوي للزهرة على ارتفاعات ومواقع مختلفة. أكدت المركبة الارتفاع الشديد لدرجة حرارة السطح، ووجود اختلاف ضئيل في درجات الحرارة بين الليل والنهار، وكذلك ندرة الماء في الجو.

بعد استكشاف القمر والكواكب المحيطة بالأرض، اتجه طموح الإنسان إلى الكواكب العملاقة: المشترى وزحل و أورانوس، وما بعدها من كواكب على حافة المجموعة الشمسية وهي نبتون وبلوتو. تمثل هذا الاستكشاف من خلال برنامجين أمريكيين وهما بيونير، وفواياجير Voyageur. تكون البرنامج الأول من مسبرين فضائيين وهما بيونير ١٠ ، ١١. كانت مهمة المركبتين استكشاف الفضاء فيما بعد المريخ وحزام الكويكبات، ثم تنطلق بيونير ١٠ إلى المشترى، بينما تنطلق بيونير ١١ نحو زحل. وبعد أن تمر المركبتان بأجواء هذين الكوكبين وتجري بعض القياسات مثل المجال المغناطيسي، فإنها تنطلق إلى حواف المجموعة الشمسية. اختير موعد الإقلاع يوما ٣، ٥ أبريل من عام ١٩٧٣ بحيث يكون مسار المركبة أقصر ما يمكن. وصلت بيونير ١٠ إلى المشترى في ٤ ديسمبر من نفس العام وتمر بالكوكب على بعد ١٣٠ ألف كيلو متر. وصلت المركبة بيونير ١١ إلى زحل كما كان مخططًا لها في أول سبتمبر من عام ١٩٧٩، أي بعد إطلاقها بستة أعوام ونصف العام، لم ينقطع فيها الإرسال بين المركبة ومركز التحكم في الأرض. أكدت قياسات بيونير ١٠ أن كوكب المشترى يشع حرارة ضعف ما يستقبله من الشمس، مما يدل على أنه يحتوي على مصدر حراري داخلي، كما أكدت أن مجاله المغناطيسي تصل قوته إلى ألفي ضعف قوة مجال الأرض. أما رحلة بيونير ١١ فقد رصدت حلقات زحل، واكتشفت حلقة جديدة

وقمرًا جديدًا لم يكونا معروفين من قبل، كما تم التوصل إلى حقائق جديدة عن طبيعة المجال المغناطيسي للكوكب.

كانت إمكانيات مسبرا فواياجير ١، ٢ أكبر بكثير من بيونير، فقد كانت مسابر فواياجير مزودة بمولدات للطاقة النووية قدرتها ٤٠٠ وات، نظرًا لأن البعد الكبير للكوكبين عن الشمس يجعل الطاقة الشمسية التي يمكن الحصول عليها ضئيلة وغير كافية. تم إطلاق مركبتي فواياجير في ٢٠ أغسطس من عام ١٩٧٧، وبعد عامين تقريبًا من السفر في الفضاء بسرعة ٥٢ ألف كيلو متر في الساعة اقتربت فواياجير ١ من كوكب المشترى بعد مرورها بالقرب من مدار المريخ. وفي ٥ مارس من عام ١٩٧٩ كانت المركبة على بعد ٢٨٠ ألف كيلو متر من كوكب المشترى. استمرت المركبة في إرسال صور للمريخ والمشترى وهي في طريقها إلى زحل. من جهة أخرى كانت المركبة فواياجير ٢، والتي اتخذت مسارًا آخر لتتجنب الأحزمة الإشعاعية المحيطة بالكوكب تقترب من المشترى وترسل صورها هي الأخرى. بعد مرور المركبتين بالمشترى، استخدمتا جاذبية كوكب المشترى لتساعدهما على الإقلاع في رحلتهما الطويلة نحو زحل حيث وصلتا إليه في نوفمبر ١٩٨٠، وأغسطس ١٩٨١. وجدت المركبتان أن سطح المشترى ساخن جدًّا رغم بعده الهائل عن الشمس، وفحصتا ١٧ قمرًا من أقماره العديدة، وفحصت فواياجير ٢ حلقات زحل ووجدتها مكونه من بلايين الجزيئات الصغيرة من الثلج والغبار. استخدمت فواياجير ٢ جاذبية زحل لتتجه نحو أورانوس الذي وصلته في ٢٤ يناير من عام ١٩٨٦ ومرت فوق سحبه على ارتفاع ٨١ ألف كيلو متر. بعد أربع سنوات ونصف من الصمت في رحلتها عبر الفضاء، أعادت فواياجير ٢ تشغيل أجهزتها عندما وصلت إلى أورانوس لترسل صورًا عنه إلى الأرض. من أورانوس اتجهت المركبة نحو نبتون الذي وصلت إليه في ٢٤ أغسطس من عام ١٩٨٩. امتدت رحلة فواياجير إلى حوالي بليون كيلو متر، مما استلزم استخدام طبق هوائي أرضي بقطر ٦٤ مترًا، لاستقبال الإشارات المرسلة إلى كوكب الأرض. كان الإنسان يحلم بأن يحلق في الفضاء، فحقق حلمه، بالرغم من أن ما وصل إليه لم يكن إلا نذرًا ضئيلاً من منظومة الكون.


الجزء الثاني
التكنولوجيا

المحتويات

مقدمة

التكنولوجيا Technology هي دراسة الأساليب الفنية والتقنيات البشرية في صناعة وعمل الأشياء. وبالرغم من أن جميع التقنيات البشرية هي موضوع دراسة التكنولوجيا، إلا أنه أصبح من الشائع قصر نطاق التكنولوجيا على التقنيات الإنتاجية والصناعية، وتقنيات التشييد والنقل والاتصالات. وتعتبر دراسة تطور استخدام القوى المحركة، وأنواع ومصادر الطاقة من صميم اهتمام دراسة التكنولوجيا، ومفتاح فهم التاريخ الإنساني في المجال التكنولوجي. إن علم الآثار ودراسة الحضارات القديمة -الأركيولوجيا Archeology – معني بإعادة بناء الشكل التاريخي القديم، ودراسة الفنون الصناعية على مدى تاريخ تطور التكنولوجيا. لقد أثبتت دراسة الحضارات القديمة أن التكنولوجيا أقدم من العلم، فإذا كان العالم معنيًّا بالفهم المنهجي للظواهر والأنشطة الطبيعية والتي قد بدأ مع الحضارات الأولى، فإن التكنولوجيا قد بدأت مع ظهور الإنسان العاقل Homo Sapiens من خلال تصنيع أدواته البدائية التي استخدمها في الصيد وفي أنشطته الحياتية.

بدأ الإنسان أول طريق استخدام الأساليب الفنية في صناعة الأدوات، والتحكم في النار للاستفادة من الطاقة الحرارية، منذ عهد ليس بقصير قد يكون قد امتد لحوالي مئات الآلاف من السنين أو يكون قد طال لمليون سنة أو أكثر. في البداية، كان الإنسان منتشرًا في جماعات صغيرة متناثرة في بقاع شتى في أفريقيا شبه الاستوائية، لما كانت تتصف به هذه المناطق من ظروف طبيعية ملائمة للحياة. ربما فقدت معرفة التقنيات وأعيد اكتشافها مرات عديدة، قبل أن يتزايد البشر بدرجة تدعم استمرارية نقل المعرفة من جيل إلى آخر. كان الإنسان الأول يتمتع بمهارات غريزية تمكنه من تصنيع أداة صغيرة تقتضيها مناسبة عابرة في الصيد أو الحفر أو التقاط ثمار الأشجار.

لقد استطاع الإنسان ببطء -ولكن بتصميم- فرض كينونته على الطبيعة التي كانت في كثير من الأحيان تقف ضده من خلال البراكين والزلازل، والبرق والرعد والأمطار، والمناخ شديد البرودة وشديد الحرارة. كان الإنسان في أول الأمر هشًّا ضعيفًا، عرضة لأن يكون فريسة لحيوان ضاري، أو ضحية الظواهر الطبيعية. جاءت القفزة الثانية حينما اخترع الإنسان أدوات جديدة هيأت له البدء في عملية الزراعة، عن طريق تمهيد وتسوية وحرث الأرض، واستخراج المياه وتصريفها، وحصاد الثمار وتخزين الحبوب. وتغيرت أساليب الحياة من قنص وصيد، ورعي وتجوال، إلى استقرار وزراعة وحصاد، ووصف علماء الأركيولوجيا هذا التحول بأنه «ثورة العصر الحجري الحديث» لأنه يمثل تحولاً هائلاً في أنماط الحياة، وأساليب المعيشة. بدأت هذه الثورة على ضفاف الأنهار الكبرى مثل نهر النيل، ودجلة والفرات، والإندوس، والجانج، والنهر الأصفر، حيث كانت التربة خصبة، تحمل إليها مياه الفياضانات مزيدًا من الطمي.

كانت الظروف ملائمة لطبيعة التقنيات التي استخدمها المشتغلون بالزراعة في تلك العصور منذ حوالي عشرة آلاف عام قبل الميلاد، لتبدأ ثورة العصر الحجري الحديث حول الأنهار الكبرى، ثم تمتد هذه الثورة إلى غالبية مناطق الكتلة اليابسة في أفريقيا وآسيا وأوروبا. خلال هذه الفترة، اتسع نطاق تشكيل الحجر لصناعة الأدوات والأسلحة، وازداد أسلوب صناعتها صقلاً. عزز امتلاك الحيوانات الأليفة، تحويل صوف الماشية إلى ألياف لصناعة النسيج، وتحويل جلود الحيوانات إلى ملابس يستر بها الإنسان بدنه. أدى التقدم في استخدام النار والتحكم فيها إلى ابتكار القمائن والأفران لصناعة الأواني الفخارية والسيراميك، ثم بعد ذلك لتشكيل المعادن. تهيأت للإنسان بعد ذلك تقنيات صناعة الأدوات المعدنية، بعد أن قام باستخراج المعادن من خاماتها الطبيعية، ثم تشكيلها على هيئة أدوات وغيرها من المصنوعات التي تساعده في رحلته الحياتية. ومن هذا المنطلق يمكن إطلاق مصطلح «الحضارة» على التطور الهام الذي حدث في أساليب معيشة الإنسان.

أدى البحث على الموارد المعدنية إلى التوسع في الاستكشاف، ونمو التجارة، وذلك لندرة وجود هذه الموارد بكميات وفيرة وكافية. اتسمت بعض المعادن مثل الذهب والفضة بالندرة فتحولت إلى معادن ثمينة وقيمة. تعرف الإنسان إلى صناعة البرونز حيث حدث صدفة وجود مزيج من النحاس والقصدير بالقرب من النار، فتكون معدن صلدًا أمكن

استخدامه في صناعة الكثير من الأدوات. أمتدت حضارات العصر البرونزي على مدى الألف الثانية قبل الميلاد، والتي نشطت فيها حركة التجارة حول شواطئ البحر المتوسط، امتدت أيضًا لتشمل السواحل الإسبانية والبريطانية، وذلك بحثًا عن القصدير الذي كان عنصرًا حيويًّا لصناعة الأسلحة والأدوات والحلي. اتسمت مهارات الصناعات اليدوية بالبساطة، فكانت تقوم على تحويل المعادن الطبيعية نسبيًّا مثل النحاس والذهب إلى مشغولات معدنية عن طريق السبك والطرق والدرفلة والسحب. ونظرًا لأن البرونز أكثر صلابة من النحاس فقد أصبح مادة مفيدة لصناعة أدوات التقطيع وصناعة الأسلحة.

بدأ عصر الحديد منذ حوالي ثلاثة آلاف عام خارج مراكز الحضارات السابقة، في مناطق آسيا الوسطى، وتميز باختراع تقنيات تشكيل خام الحديد. كان يوجد هذا الخام في مناطق واسعة جدًا وسط أراضي سبخة بحيث أمكن استخراجه بسهولة، كما كان يوجد في صورة ترسبات وسط صخور صلبة. كان من الضروري توافر أفران صهر تتحمل درجات الحرارة المرتفعة لساعات طويلة، من أجل تحويل الخام إلى معدن حديدي قابل للطرق والتصنيع، كانت هذه الأفران تقام عادة فوق قمم تلال مكشوفة في العراء للاستفادة من تيارات الرياح الطبيعية، واستخدام منفاخ يحركه العمال باليد أو بالقدم لتندفع منه تيارات هواء اصطناعية. حلت السلع المصنوعة من الحديد محل الأدوات والأسلحة المصنوعة من البرونز، مما ساعد على المزيد من التطور الحضاري.

انتشر نظام العبودية في مجتمعات الحضارات القديمة لتوفير قوة العمل اللازمة للأعمال شديدة الوضاعة، أو الأعمال التي كانت تتطلب مجهودًا بدنيًّا. عرقل نظام العبودية مسيرة التقدم التكنولوجي لوجود أعداد كبيرة من الأيدي العاملة من العبيد، التي أدت إلى الاسترخاء في بذل الجهد لتجديد التقنيات والمهارات الفنية لعمليات التصنيع، وإلى عدم تخصيص موارد كبيرة وأساسية من أجل التطوير. لقد أصبح شراء العبيد أقل تكلفة من استخدام تقنية جديدة، مما حول اهتمام الإنسان إلى الأهداف السياسية والثقافية والدينية بدلاً من الأهداف التقنية والتطور التكنولوجي. تمثلت مظاهر

تقدم الحضارات القديمة في القدرة على استغلال التكنولوجيا لتحسين القدرة الحربية، أو تشييد الهياكل الدينية والمباني والقصور ذات الروعة المعمارية والإنشائية. لم تشهد المجالات التقليدية مثل توفير طاقات العمل ومثل المجالات الإنتاجية والصناعية، سوى تقدم ضئيل.

يبدأ الاختراع أو الابتكار بفكرة، ولكن لن تتطور هذه الفكرة وتتحقق إلا إذا وجدت حاجة اجتماعية لها، وموارد اقتصادية لتنفيذها. أكد توماس أديسون على أن جميع اختراعاته من نتاج تسعة وتسعين في المائة من الجهد والعمل، ويتبقى واحد في المائة فقط من نتاج الإلهام، الذي يعتبر شرارة تشكيل الفكرة. إن الإلهام لا يتوافر إلا لعقل مهيأ جيدًا للصراع مع مشكلة غير مألوفة، فيصبح من الصعب تحديد الاستعدادات الملائمة التي تقود الباحث إلى الحل الصحيح، أو التغلب على مشكلة عويصة. إن الصفة العامة للعلماء والباحثين هي العمل الجاد، فالإبداع لا يأتي من الإلهام الفجائي لعقل خامل، إنما يأتي من العمل النشيط لإنسان ذي فعالية فعالة. تتمثل الخصائص الشخصية الأخرى التي تميز المبدعين والمبتكرين في الرغبة في اقتحام المجهول والغامض، والاستقلالية في التفكير والممارسة، والاستبطان الداخلي، وعدم الامتثال للأعراف والقوالب الجامدة. إن التفكير الخلاق أحد الوظائف العقلية التي ترتبط بالذاكرة والانتباه والخيال، وهو التفكير، النائي عن الغرائز والانفعالات، والذي أدى إلى تقدم الحضارة الإنسانية ورقيها.

قامت الحضارة الغربية التي تواصلت واستمرت على مدى الثلاثة قرون الأخيرة على دعامات الثورة التكنولوجية، التي هيأت للتطور الحضاري وواكبته. بعد سنوات طوال من الاضطهاد الديني، وعهود طويلة من الكبت الاجتماعي والسياسي، توافرت للقارة الأوربية مناخ مشجع من الحرية والديمقراطية أقنع أصحاب المشروعات لتوفير الموارد والأسواق، دون خوف من وقوع اضطهاد سياسي أو ديني، وكان له الأثر الفعّال في وضع جميع الاختراعات والابتكارات في حيز التنفيذ، والإنتاج والتسويق. إذا كانت التكنولوجيا تعني التقنيات البشرية بصنع وأداء الأشياء، فإن الطاقة تحتل مكانة مميزة في

منظومة التكنولوجيا؛ لأنها هي التي تهيئ للبشر القدرة على صنع المنتجات وأداء الأعمال.

كان المصدر الوحيد للطاقة هو عضلات الإنسان، ثم بدأ التطور التكنولوجي باستغلال مصادر أخرى تضاف إلى قدرات الإنسان أو تستبدل بها، مثل الروافع البسيطة وعصا الحفر. أمكن للإنسان ترويض الحيوانات لحمل الأثقال، وجر الأدوات الضخمة مثل المحراث. أدرك الإنسان إمكان استخدام المصادر الطبيعية للطاقة مثل الرياح، والماء، والمد والجزر، وطاقة حرق أفرع وورق الأشجار. استغل الإنسان طاقة الرياح، وطاقة سقوط المياه في الأنهار في أداء بعض الأعمال التي تستلزم جهدًا وتكرارًا مثل طحن الحبوب، مما استلزم تطوير تقنيات جديدة في فهم العمليات الميكانيكية الأساسية، وكذلك في تطوير المهارات الخاصة بالتشييد واللازمة لبناء الطواحين. جاءت الطفرة الهامة والحيوية في تاريخ البشرية من خلال اكتشاف الطاقات الهائلة المختزنة في الوقود الأحفوري، من فحم ونفط وغاز طبيعي. أعقب ذلك في عصور ليست بطويلة اكتشاف الطاقة المختزنة في الذرة ليهيمن الإنسان على طاقات كوكب الأرض، ويستغلها في سفه وإسراف، قبل أن يفيق من نشوة تبديد مصادر الطاقة التي لا يمكن تعويضها، فيتجه إلى مصادر أخرى من الطاقات الجديدة والمتجددة، ويتجه أيضًا إلى تكنولوجيات إدارة وترشيد استهلاك الطاقة.

إذا كان العلم هو المعرفة المكتسبة من دراسة السلوك في الطبيعة، فإن العمل وتطور تقنياته هو القمة المضافة للعقل الإنساني في المنظومة البشرية. تتمثل قيمة العمل في الكلمات القليلة للفيلسوف الألماني هيجل: إن أصغر عمل متحقق لهو أكبر قيمة من أجمل فكرة لم تستطع أن تتجاوز دائرة الإمكان، فبقيت مجرد مشروع... إنه لمن أخطر الأمور وأشدها ضررًا أن يحاول المرء وقاية نفسه تمامًا من كل خطأ. إننا إذا لم نخطئ، وإذا لم نحاول العلو على أخطائنا، فإنه هيهات لنا أن نصبح حكماء.

الثورة الصناعية

بدأت الثورة الصناعية في أوروبا وخاصة في إنجلترا في الربع الأخير من القرن الثامن عشر، بأفول عهد الرأسمالية التجارية، أو ما كانت تسمى بالمركنتيلية. وبعد ترسيخ عصر العقل في أوروبا والذي بدأ في القرن السابع عشر، وبعد أن توسع العلماء والمخترعون والمكتشفون في تطوير الصناعة بجميع مجالاتها، بزغ عهد صناعي جديد قائمًا على التكنولوجيا عالية التقنية.

شهدت الثورة الصناعية سلسلة تغيرات في عمليات التصنيع والتكنولوجيا الخاصة بها. إذا كان إنتاج الحديد باستخدام فحم الكوك قد بدأ في عام ١٧٠٩ بواسطة إبراهام دربي بإقامة مصنع لصهر الحديد في كولبروك ديل بإنجلترا، فإن التوسع في استخدام فحم الكوك قد واكب الثورة الصناعية التي أدت إلى زيادة الطلب على الحديد. ونظرًا للخواص الجيدة لفحم الكوك،أصبح في الإمكان إقامة أفران صهر أكبر حجمًا، كما أمكن تطبيق نظام دفعة الهواء السابق التسخين (فرن تسخين الهبوب) مما زاد من إنتاجية وكفاءة عملية التصنيع. أصبح الحديد -خاصة الحديد الزهر- متاحًا في جميع أسواق العالم لاستخدامه على نطاق واسع في أغراض البناء والتشييد. تغيرت تقنيات معالجة الحديد والصلب لمواجهة الطلب الزائد من السوق، فأصبح بالإمكان إعادة تسخين وتنقية الحديد الزهر عن طريق عملية «التسويط»، بمعنى تحريك الحديد المصهور مع خبث مؤكسد لجعله سهل التشكيل، وذلك لإنتاج حديد مطروق أو مطوع، كنوعية جديدة تستخدم في صناعة القضبان والألواح الحديدية.

حدث تطور مماثل في صناعات الخزف والزجاج والصابون، نتيجة للتقدم العلمي في مجال الكيمياء. كانت صناعة الخزف تقوم على تشكيل الصلصال على دولاب دوار، ثم حرقها في الأفران. لقد استطاع وليام كوك Coke خلال ستينيات القرن الثامن عشر عن طريق استخدام الطفل الصيني المعروف باسم الكولين وإحراقه في درجات حرارة عالية حتى يحدث التحول الكيميائي اللازم، لإنتاج خزف نصف شفاف. أما صناعة الزجاج التي حققت مستوىً رفيعًا من المهارة التكنولوجية في مدينة البندقية بإيطاليا، فإن انتشارها قد واكب قيام الثورة الصناعية، من خلال إقامة المصانع التي كانت تقوم بإنتاج المنتجات الزجاجية على نطاق واسع. كان من نتيجة تحضير حامض الكبريتيك المستخدم في إنتاج كربونات الصوديوم، وهو القلوي المفضل لصناعة الصابون، أن بدأ العلم في إنتاج هذه السلع المهمة.

أدى التطور السريع لصناعة المنسوجات في إنجلترا إلى زيادة الطلب على الكيماويات بكميات كبيرة، كما أصبحت صناعة الأقمشة الصوفية من أسباب الرخاء الصناعي والتجاري في بريطانيا. استخدمت المواد الكيميائية من أجل تنظيف وتبييض وصبغ الألياف الصوفية بدلاً من المواد الطبيعية مثل الشبة والأصباغ النباتية. أدى الطلب على المواد الكيميائية إلى التوسيع في صناعة الكيماويات. ساعد اختراع المحركات البخارية ثم الكهربائية على ميكنة آلات الغزل، وتمكن العامل من نسج خيوط كثيرة في وقت واحد. أدخلت الآلات أيضًا لتجهيز القطن الخام لأغراض الغزل، ولطباعة أنماط ملونة لتكون خيوطًا جاهزة حسب الطلب للتصنيع.

بدأ انتشار صناعة الإليكترونيات -بعد إنتاج الكهرباء على مستوى تجاري- في صورة متواضعة وبطيئة. تم إنتاج الراديو والصمامات الأيونية الحرارية في العقد الثاني من القرن العشرين، ثم اتسعت هذه الصناعة بصورة هائلة مع ظهور أجهزة التليفزيون، والحاسب الآلي، والآلات الحاسبة، والتي شاع استخدامها بعد نهاية الحرب العالمية الثانية. أصبحت الإليكترونيات ركيزة الرقي والارتقاء لاقتصاد الدولة في القرن العشرين، ولذلك لتنوع منتجاتها، وتشعب استخداماتها في جميع المجالات.

توافرت وسائل نقل الغذاء إلى مسافات طويلة منذ عام ١٨٥٠، وأخذت في الازدياد، ولكنها حتى ذلك الحين كانت تكاد أن تكون قاصرة على الغذاء في البلدان الساحلية من الدول الأوربية والولايات المتحدة الأمريكية. أدى النقل بالجملة بواسطة السكك الحديدية والسفن التجارية إلى توفير الحبوب الأمريكية للدول الأوربية خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر. تطورت تقنيات التبريد والتجميد بصورة فعالة منذ سبعينيات القرن التاسع عشر، واستخدمت هذه التقنيات في السفن التجارية لنقل اللحوم ومنتجات الألبان والفواكه الطازجة من دول أمريكا اللاتينية وبعض الدول الأفريقية والآسيوية إلى أوروبا. في هذه الفترة أيضًا، حدث تطور في صناعة التعليب بغرض تسويق اللحوم الأمريكية وغيرها من المواد الغذائية، كما بدأ التطور في تقنيات حفظ المواد الغذائية عن طريق التجميد السريع وتجفيفها في حالة تفريغ عالية Free-Drying وتعريضها للإشعاع.

تكنولوجيا صناعة الصلب والمعادن

بدأ التطور في الصناعة الثقيلة للحديد والصلب عام ١٨٥٦ على يدي هنري بسيمر بفضل اختراعه للمحول الذي من خلاله يتم إزالة الكربون من خام الحديد المنصهر بواسطة إطلاق دفعات هواء قوية. أدت هذه الطريقة إلى إنتاج نوع من الفولاذ الطري بكميات كبيرة لأول مرة، وواجهت هذه العملية مشكلات حادة خلال السنوات الأولى، خاصة بعد فشلها في إزالة العناصر غير المرغوب فيها من الحديد داخل المحول. ولكن أمكن إيجاد حلول لتلك المشكلات بإيجاد طرق بديلة لإنتاج الفولاذ بكميات وفيرة. ومن ثم تم وضع تصميم ناجح لأسلوب المجمرة المكشوفة والتي يمكن التحكم فيها بدقة أكبر مما هي الحال بالنسبة لمحول بسيمر، فضلاً عن إمكان ملاءمتها بسهولة لاستخدام الحديد الخردة. وانتشرت الطريقتان مع نهاية القرن التاسع عشر وشاع استعمالهما في جميع صناعات الحديد والصلب في أوروبا وأمريكا الشمالية. وحل الصلب محل الحديد في غالبية الاستعمالات المخصصة للماكينات، علاوة على استعماله في أغراض إنشائية كثيرة مثل بناء السفن وخطوط السكك الحديدية. قادت صناعة الحديد والصلب البريطانية الجهود على طريق التطور، ولكن سرعان ما اقتفى أثرها رجال الصناعة في فرنسا وبلجيكا وألمانيا والولايات المتحدة. ومع حلول مطلع القرن العشرين استطاعت ألمانيا بفضل التمركز المكثف لصناعتها الثقيلة في منطقة الرور، وأمريكا بفضل ما حققته من تطورات عظيمة حول منطقة بيتسبرج وغيرها، أن تلحقا ببريطانيا في إنتاج الصلب، وأصبح الصلب المعدن الشائع

والمهيمن في العالم الغربي.

أصبحت معادن أخرى ذات أهمية كبرى في اقتصاد المجتمعات التي يتطور نشاطها التصنيعي بسرعة كبيرة في القرن العشرين، فقد أصبح للنحاس أهمية كبرى في الصناعات الكهربائية بسبب قدرته العالية على التوصيل. وشاع استخدام القصدير في حفظ الطعام عن طريق صنع رقائق من الصلب المغطاة بطبقة من القصدير، والتي يمكن درفلتها ثم سدها بإحكام لتشكيل علبة الصفيح. ظلت عمليات استخراج المعادن الثمينة ذات أهمية، خاصة بالنسبة لاستخراج الذهب في جنوب أفريقيا وفي غيرها من البلاد. أدى الطلب العالمي على الذهب كقاعدة للعملات القومية إلى اندفاعات في حدة الطلب عليه في كاليفورنيا واستراليا وجنوب أفريقيا. جرى استغلال معادن أخرى جديدة أهمها الألومنيوم، وعلى الرغم من انتشار هذا المعدن على نطاق واسع فإنه لم يكن بالإمكان استخراجه من خام المعدن إلا بصعوبة شديدة، وذلك قبل اكتشاف طريقة التحليل الكهربائي (الإليكتروليتية) عام ١٨٨٦ في كل من فرنسا والولايات المتحدة، وأدت هذه الطريقة إلى إنتاج هذا المعدن بكميات كبيرة وزهيدة نسبيًّا. كانت هذه الطريقة تستهلك كميات كبيرة من الكهرباء، لذلك اتجهت المسابك الكبرى لصهر الألومنيوم إلى أن تقام بالقرب من مواقع توليد الكهرباء بكميات وفيرة مثل جبال الألب في فرنسا ومرتفعات اسكتلندا. وشاع استخدام الألومنيوم للأغراض الميكانيكية والإنشائية، وغالبًا ما كان هذا المعدن بديلاً عن الصلب حيث تكون خفة وزن المعدن نسبيًّا ميزة مطلوبة في الصناعة مثل صناعة هياكل الطائرات وغيرها من أنواع المحركات.

الآلات الحرارية

اقترن الدخول في عصر الطلب المرتفع على الطاقة باختراع المحرك، الذي يعمل ببخار الماء ومحرك الاحتراق الداخلي. ظهر المحرك البخاري في أوروبا مع نهاية القرن السابع عشر، لاستغلال الطاقة الكامنة في البخار. وفي عام ١٧١٢ صنع الإنجليزي توماس نيوكومن أول محرك بخاري لضخ المياه خارج منجم فحم في منطقة دادلي بوسط إنجلترا. كان المحرك عبارة عن ماكينة ضخمة، وتتكون آلية تشغيله من أسطوانة نحاسية عمودية مغلقة من أسفل ومفتوحة من أعلى وبداخلها كباس طليق حر الحركة، ويدخل البخار عن طريق غلاية أسفل الأسطوانة. بعد أن يتكثف البخار تحت الكباس نتيجة تعرضه لمصدر مياه باردة ينشأ فراغ جزئي، بذلك يمكن للضغط الجوي أعلى الكباس أن يدفع الكباس إلى أسفل داخل الأسطوانة. وفي حالة توصيل الكباس برافعة أو ذراع كبير دوار فإن حركة الكباس المتجهة إلى أسفل سوف تتحول إلى حركة متجهة إلى أعلى لقضبان الضخ عند الطرف الآخر للذراع، وعليه يمكن رفع المياه من أي عمق تصل إليه القضبان. كان ثقل القضبان كافيًا لاستعادة الكباس إلى قمة الأسطوانة ليبدأ المحرك شوطه الثاني. أدخل نيوكومن بعد ذلك كثير من التعديلات من أجل تبسيط وسلاسة التشغيل، وذلك بإضافة صمامات تتحكم في فتحة دخول البخار وفي عدد آخر من وظائف.

أدت أبحاث جيمس وات في تمدد البخار إلى استخدام هذه الخاصية في تطوير المحرك البخاري. عكف وات على تطوير نموذج محرك نيوكومن لرفع كفاءته من خلال

اختراع المكثف المستقل، واستخدامه بدلاً من الأسطوانة التي يجري تسخينها وتبريدها بالتبادل مع كل شوط من أشواط الكباس، فأصبح بالإمكان الحفاظ على الأسطوانة دائمة السخونة مع تكثيف البخار داخل أنبوبة مستقلة، أي داخل المكثف الذي أمكن الاحتفاظ به باردًا. نجح وات بعد ذلك في تحويل المحرك بالضغط الجوي إلى محرك بخاري حقيقي، باستخدام القدرة التمددية للبخار لتصل مباشرة إلى الكباس، وتوصل إلى ذلك حيث أغلق الأسطوانة للاحتفاظ بها في درجة حرارة عالية وثابتة في أثناء العمل، ووجد أنه من الضروري أن يأتي ببديل عن وزن الضغط الجوي عند أعلى الكباس، ورأى وات أن إذا ما سمح للبخار بالدخول، واستفاد من تمدده فإن ذلك يساعد الكباس على الحركة المنتظمة إلى أسفل. وبتكثيف البخار أعلى وأسفل الكباس على التوالي، تتحول الماكينة التي كانت تعمل بحركة واحدة إلى ماكينة مزدوجة الحركة، كما أصبح بالإمكان تعديل المحرك لأداء حركة دائرية.

اكتملت عملية تطوير المحرك البخاري باختراعين آخرين، الأول هو «الحركة المتوازية» وذلك بترتيب عدد من القضبان الدوارة للحفاظ على حركة الكباس بحيث تظل متعامدة حتى وإن اتصل بطرف ذراع يتحرك خلال مقطع قوسي. أما الاختراع الثاني فهو استخدام المنظم الذي يعمل بقوة الطرد المركزي للتحكم في المحرك البخاري. يعتمد هذا التصميم على مبدأ أساسي وهو استخدام أثقال تواصل دوام حركة الدفع الأساسية للمحرك بغير التحكم في دخول البخار، ومن ثم تنظيم سرعة المحرك. كانت جميع المحركات البخارية في القرن الثامن عشر -باستثناء عدد قليل- تعمل ببخار يزيد ضغطه قليلاً عن الضغط الجوي. ومع نهاية القرن التاسع عشر استحدث تشارلز بارسونز ومهندسين آخرين التوربين البخاري للحصول على النشاط الدوراني مباشرة من الطاقة البخارية.

بحلول القرن التاسع عشر، أجرى أوليفر إيفانس تجارب ناجحة على البخار عالي الضغط في الولايات المتحدة. وفي بريطانيا استخدم المهندس ريتشارد تريفيثيك قدرة التمدد لحجم صغير من البخار ذي الضغط العالي مقابل الفراغ الجزئي الناتج

عن تكثيف البخار من الشوط السابق على الجانب الآخر من الكباس. وفي العقد الثاني من القرن التاسع عشر استخدم محرك القاطرة البخارية لجر عربات نقل الفحم داخل المنجم ولكن لمسافات قصيرة، وأمكن مع حلول العقد الثالث إنشاء خطوط أطول للجر بالبخار مسافات طويلة. وفي عام ١٨٣٠ افتتح خط قطار ليفربول ومانشستر، معلنًا بدء عصر «السكك الحديدية» على المستوى التجاري.

ظهرت قرب نهاية القرن التاسع عشر الحاجة إلى محركات عالية السرعة تحرك مولدات الكهرباء. شجعت المنافسة على المزيد من الاختراعات، ومن بينها المحركات ذات التزييت القسري المغلق التي تستطيع الدوران بسرعات عالية لفترات غير محدودة، وأيضًا المحرك البخاري أحادي اتجاه سريان البخار، والذي أمكن فيه التغلب على مشكلة نقص الحرارة الناتجة عن عكس اتجاه البخار مع كل شوط من أشواط الكباس، عن طريق تغذيته عند طرفيه من خلال فتحات في منتصف الأسطوانة. بدأ المحرك البخاري الترددي يفقد مكانته لظهور التوربينة البخارية Steam Turbine ، التي استخدمت في توليد الكهرباء. ظهر بعد ذلك التوربينة المائية Hydraulic Turbine، لتوليد الحركة الميكانيكية أو لتوليد الكهرباء، كما استخدمت طاقة الرياح وطاقة المد والجزر في تشغيل الطواحين.

أنتج المهندس السويدي دي لافال تصميمًا عالي الكفاءة لتربينة بخارية دفعية وذلك في عام ١٨٨٩، حيث يتجه بخار عالي الضغط خلال مخرج، ويؤدي تجويفه المتزايد إلى تحويل طاقة ضغط البخار إلى سرعة اتجاهية، لينتج دورانًا عالي السرعة. يتكون الجزء الدوار Rotor من عجلة على حافتها ريش Blades محورية منحنية وفوهتها متجهة نحو البخار وموجودة داخل أنبوب بداخله مكثف لعادم البخار المستخدم. صممت بعد ذلك تربينات دفعية تقسم تمدد البخار إلى عدة مراحل مما يرفع من كفاءة التربينة عند السرعات المنخفضة.

وفي تقنية مختلفة للمحركات وهي المحرك الداخلي للاحتراق Internal Combusion

Engine فقد استطاع المهندس الفرنسي لينور في عام ١٨٥٩ صنع محرك يحرق غاز الاستصباح داخل اسطوانة أفقية، بواسطة شرارة كهربية، وتدفع قوة دفع الغاز المشتعل الكباس، مع استخدام حداف لإعادة الكباس إلى طرف الإشعال الخاص بالأسطوانة. تمثلت أهم مشكلات هذا المحرك في مراحله الأولى في صعوبة إشعال الوقود في اللحظة الصحيحة والدقيقة تمامًا، وكذلك في صعوبة توليد حركة منتظمة سلسة من الطبيعة العنيفة لشوط التشغيل. تم التغلب على المشكلة الأولى عن طريق استخدام إشعال اللهب الخارجي أو أنابيب ساخنة، ثم أدت التحسينات التي طرأت على البطاريات الكيميائية على العودة إلى شرارة الإشعال، ومن ثم إلى نظام شمعة الإشعال، وهو نظام قادر على أن يوصل بدقة نوع الشرارة اللازمة في اللحظة الصحيحة داخل دورة المحرك.

أمكن التوصل إلى الحركة المنتظمة السلسة عن طريق استخدام دورة أوتو Otto Cycle والتي وضعها المهندس الألماني أوتو في عام ١٨٧٦. تتألف الدورة من أربع مراحل: حقن الوقود داخل الأسطوانة، والضغط، والإشعال، وأخيرًا الحركة مع دفع العادم إلى الخارج. أثبت علم الديناميكا الحرارية أن الوقود سوف يحترق على نحو أكثر فاعلية إذا ما كان منضغطًا لذلك جعل أوتو الكباس يضغط الغاز في شوط العودة بعد دخوله في الأسطوانة خلال الشوط الأول، بينما كان الكباس خارجًا من الأسطوانة. يمثل الشوط الثالث مرحلة التشغيل الوحيدة من بين المراحل الأربعة. عند اشتعال واحتراق الغاز يدفع الكباس إلى الخارج مرة أخرى، وعند رجوع الكباس في الشوط الرابع يكون قد خرج الغاز المحترق من الأسطوانة، لتبدأ دورة جديدة.

استخدم المهندس الألماني جوتليب ديملر Daimler في عام ١٨٨٥، البترول المتبخر أو الطيار في إدارة آلة الاحتراق الداخلي. بعد فترة قصيرة ثبت محرك ديملر في دراجة، لتصبح أول دراجة تسير بمحرك. وفي نفس الوقت استخدم مهندس ألماني آخر هو كارل بنز Benz محركًا بتروليًا أحادي الأسطوانة تسير مركبة ذات ثلاث عجلات، بذلك أنشأ أول سيارة حقيقية. وفي عام ١٨٦٩ قام هنري فورد Ford بتصنيع أول

سيارة في الولايات المتحدة الأمريكية، ثم ينشأ مصنع لصناعة السيارات في عام ١٩٠٣. استحدث ردولف ديزل في عام ١٨٩٢ محرك عالي الضغط، يمكن إحداث إشعال ذاتي في الوقود عن طريق الضغط الشديد المكثف، إذا كان البريطاني فرانك هيوتيل Huttel هو أول من وضع المبادئ الأساسية للمحرك التوربيني الغازي، إلا أنه لم يتحقق تصنيعه قبل عام ١٩٣٧. وتوالت أعمال التطوير حتى نجحت صناعة أول طائرة نفاثة خلال المراحل النهائية للحرب العالمية الثانية بواسطة الألمان، وتنتهي سلسلة التطوير في آلات الاحتراق الحراري، باختراع الألماني فون بروان للصاروخ.

النقل

شاع استخدام الدراجة العادية في أوربا، في الربع الأخير من القرن التاسع عشر، وكانت الدراجة تشتمل على عجلات ذات أحجام مختلفة، يتحكم فيها فرملة من السلك. تم تصنيع السيارة بعد ذلك، مستخدمًا فيها تقنيات صناعة وتشكيل الدراجة، وكانت المصانع والورش التي صنعت الدراجة هي ذاتها التي تحولت إلى صناعة السيارة. يرجع الفضل لتركيب المحرك الذي يعمل بالوقود السائل على المركبات البرية إلى اثنين من المهندسين الألمان، الأول هو جوتليب ديملر Daimler الذي أنتج أول دراجة بخارية تعمل بمحرك، والثاني هو كارل بنز Benz الذي صنع أول سيارة بمحرك في عام ١٨٨٥. فتح التوصل إلى البنزين كوقود إلى اختراع المحرك الداخلي الاحتراق، والقادر على الحركة، على أن يخزن الوقود داخل صهريج يوضع فوق المركبة. اخترع فيلهالم مايباخ -الذي كان يعمل مع ديملر- الكاربوريتور الذي يرش الوقود قبل حقنه إلى داخل أسطوانة الاحتراق. انتشرت صناعة السيارات خاصة في ألمانيا وفرنسا والولايات المتحدة، كما انتشرت إطارات الهواء المضغوط، والمصانع التي كانت تنتج الأجزاء المكملة لهذه الصناعة مثل المكونات الكهربية. كان محرك السيارة في الغالب رباعي الأشواط يعمل وفقًا لدورة أوتو Otto Cycle، وكان هيكل السيارة يصنع من الفولاذ. أنتجت بعد ذلك المحركات الثنائية الأشواط، ومحركات الديزل ذاتية الاحتراق. طرأت على صناعة السيارات تغييرات كثيرة في الشكل

والحجم، والمحركات الأمامية والخلفية، والمحركات التوربينية. لقد غيرت السيارة ثقافة المجتمعات الغربية ثم الشرقية، وأصبح من السهل الانتقال لمسافات بعيدة لم يكن الإنسان يحلم أن ينجزها منذ قرون قريبة.

تمثل الطائرات ثاني الإنجازات التكنولوجية العظمى التي حققها المحرك داخلي الاحتراق في القرن العشرين. قام الأخوان ويلبور، وأرفيل رايت في ديسمبر ١٩٠٣ بأول رحلة طيران تمت بنجاح، بعد أن رصدا حركة الطيور، وبعد أن تمت الاختراعات الكثيرة في مجال المحركات. سبق صناعة الطائرات، التحليق بالبالونات بواسطة الأخوان مونتجولفاير، والمنطاد بواسطة زبلن. حدثت التطورات في اكتشاف مبادئ علم الديناميكا الهوائية على أيدي جورج كايلي، وملاح الطيران الشراعي أوتوليلينتال، عندما اندلعت الحرب العالمية الأولى عام ١٩١٤، لم يكن معروفًا طبيعة ووظيفة الطائرة في الحرب، أكثر من كونها وسيلة رصد واستكشاف، ولكن كان التطور السريع في الحرب الجوية حافزًا قويًا لتطوير صناعة الطائرات. وبحلول عام ١٩١٨م ظهرت صناعة هامة للطائرات في جميع البلدان التي اشتركت في الحرب، وتم إنتاج مجموعات متنوعة من الآلات ذات قوة دفع عالية، وهياكل معدنية لتصنيع الطائرات المقاتلة والقاذفة، بالإضافة إلى طائرات النقل. بعد الحرب انتشر استخدام الطائرات على خطوط الطيران المدنية، وأُنشئت شركات طيران عديدة لنقل الركاب والبضائع، منافسة بذلك الخطوط البحرية. أما بالنسبة لعمليات التطوير في المحركات، فقد استخدم التوربينة الغازية (النفاثة) بدلاً من المحرك الترددي التقليدي. والتوربينة النفاثة تولد حركة دورانية مباشرة تدفع توربينًا يضغط الوقود قبل الإشعال، ويدفع عامود دوران المروحة في حالة عمل التوربينة وفق تصميم المحرك المروحي التوربيني، ولكن في الحالة الأكثر شيوعًا للمحرك النفاث، فإن دافع الحركة يتولد من عملية طرد الوقود المحترق. ساعد على استخدام المحرك النفاث، تطوير السبائك المعدنية لتصنيع ريش Blades التوربينة والغلاف المعدني المحيط بها، والتي تتحمل درجات الحرارة العالية المتولدة من احتراق الغازات. كان تصور تصنيع طائرة عمودية «هليوكوبتر»

سابقًا على الحرب. اشتمل تصميم هذه الطائرة التي ترتفع وتهبط عموديًا على محرك، ودافع يولد حركة أمامية تجعل الجناح الذي يتكون من ريشتين أو أكثر، يتحرك حركة دورانية فيفرغ السطح الأعلى للطائرة من الهواء، فيقل ضغط الهواء أعلى سطح الطائرة عنه أسفل الطائرة فترتفع الطائرة إلى أعلى. أيضًا يوجد دوار صغير للدفع الرافع عند الذيل لحفظ توازن عزم الدوران، ويساعد على التحكم في الطائرة.

نجح ثريفيثيك في مطلع القرن التاسع عشر في صناعة آلة بخارية صغيرة تعمل على الضغوط العالية، وقام بتنفيذها كقاطرة أو ناقلة للحركة فوق مسار لترام داخل منجم فحم في جنوب ويلز. واجه تريفيثيك مشكلات عديدة مثل تفتت القضبان المصنوعة من الحديد الزهر تحت ثقل القاطرة، مما أدى إلى التخلي مؤقتًا عن هذا النظام. جاء التطور في العقد الثاني من خلال جورج ستيفنسون Stevenson وعدد من المخترعين والمهتمين بهذا المجال، وذلك بتحويل البخار الخارج من الأسطوانة إلى أنبوب عادم الفرن لزيادة قوة الدفع وكذلك تقوية المسارات باستخدام عوارض حجرية أو مخدات على مسافات متقاربة. وفي عام ١٨٢٩ استطاع ستيفنسون صنع قاطرة جديدة سميت بالصاروخ، والتي سارت على خط السكة الحديد بين ليفربول ومانشستر بإنجلترا، وكانت هذه أول سكك حديدية كاملة في العالم، وقد تم افتتاحها عام ١٨٣٠.

واكب التوسع في شبكات السكك الحديدية تطورًا آخر في مجال النقل البحري. أدى استخدام البخار بدلاً من الرياح كقوة دفع للسفن، وكذلك التحول إلى الحديد والصلب في بناء السفن، إلى تحول هائل في التكنولوجيا البحرية سواء بالنسبة للسفن الحربية أو التجارية. أبحرت أول سفينة بخارية دائمة في نهر هديسون بأمريكا في عام ١٨٠٧ بقيادة روبرت فولتون. توالت بعد ذلك صنع السفن البخارية التي كانت تدفعها دواليب ذات ريش (رفاصات)، والتي تعتبر تعديلاً لتكنولوجيا (الساقية). لم يتسن التغلب على مشكلات النقل البحري لمسافات طويلة إلا في عام ١٨٣٨، عندما

عبرت أول باخرة ضخمة من بريطانيا إلى أمريكا، بعد أن قام بتصميمها برونيل الذي قام بعد ذلك بتصميم وبناء سفينة أكبر حجمًا ومصنوعة من الحديد، كما استخدم لأول مرة نظام الدفع المروحي. قامت هذه السفينة بأولى رحلاتها عبر المحيط الأطلنطي عام ١٨٤٣، وعملت بنجاح من ليفربول بإنجلترا إلى نيويورك بالولايات المتحدة ثم بعد ذلك إلى أستراليا. اتجه برونيل إلى تصميم باخرة ثالثة تدور حول رأس الرجاء الصالح في الطريق إلى الهند ثم الشرق الأقصى، فقام ببناء سفينة طولها حوالي ١٨٥متر، مع إزاحة ٢٢,٥ ألف طن مياه، وبذلك تكون أكبر سفينة تم تصنيعها وتشغيلها في القرن التاسع عشر. في تسعينات هذا القرن ظهرت التوربينة البخارية لتمثل أقوى شكل لقوة الدفع البحري، مع تحقيق سرعات أعلى. استخدمت هذه التكنولوجيا في تسيير سفينة جديدة عام ١٩٠٦، بتوربينات قوتها ٧٠ ألف حصان، وبسرعة ٢٧ عقدة بعد اختراع ديزل لمحرك الاحتراق الداخلي، استخدم هذا المحرك للعمل في الغواصات، ثم استخدم بعد ذلك في جميع السفن البحرية.

الصواريخ

بدأ تاريخ الصاروخ Rocket في الفترة التي أعقبت اختراع البارود Gunpowder . في عام ١٢٣٢ استخدم الصينيون الصاروخ لأول مرة، والذي كان يتكون من سهم مربوط بأنبوبة تحوى كمية من البارود، وينتج عن اشتعاله قوة دفع للسهم إلى أعلى. استخدم العرب والمغول بدءًا من منتصف القرن الثالث عشر هذه الأنواع من الصواريخ البدائية في حروبهم. بالإضافة إلى استخدام البارود، كانت الصواريخ في مراحلها الأولى تحوي القطران، والكبريت، وزيت التربينتينة Turpentine، والنفط. كان يضاف عناصر مقومة Ingredients مثل الملح ونترات البوتاسيوم، وذلك لجعل اللهب أقوى وأشد. انتقل استخدام الصاروخ إلى أوروبا في نهاية القرن الثالث عشر، بعد أن تعرفوا على تقنية تصنيعه من العرب. تطورت تكنولوجيا الصاروخ ليصعد رأسيًا وسمي «بصاروخ السماء» الذي اعتمد انطلاقه على وتر مشدود. استمر التطوير في صنع الصواريخ لزيادة مداها الحركي، حتى جاءت القفزات التطورية بدءًا من القرن التاسع عشر.

أحيا البريطاني وليام كونجريف Congreve في بدايات القرن التاسع عشر عمليات التطوير في تكنولوجيا الصواريخ، وقام بعدة تصميمات، كان من نتيجتها أن ارتفعت الصواريخ التي قام بتصميمها إلى السماء مستخدمًا وقود دفعي صلب Solid Propellant، ليصل مدى الصاروخ إلى مسافة تتراوح ما بين ١٨٠ متر، ٢٧٠٠ متر،

وكان وزن الصواريخ يتراوح ما بين ٤-١٩ كيلو جرامًا.

استخدم الإنجليز هذه الصواريخ في حروبهم مع القائد الفرنسي نابليون في عامي ١٨٠٥، ١٨٠٦، ثم انتشر استخدام صواريخ كونجريف بعد ذلك في الحروب. قام بريطاني آخر وهو ويليام هال Hale بتطوير تصنيع الصاروخ، بحيث أصبح لحركته دوامية متوازنة Spin-Stabilized، وذلك بتركيب ثلاثة أجنحة معدنية مائلة عند نهاية الصاروخ التي يخرج منها اللهب. استخدم تصميم هال بعد ذلك في القوات المسلحة البريطانية، وكذلك القوات الأمريكية التي استعملته في حربها مع المكسيك في عام ١٨٤٧.

بينما كان البارود والوقود الدفعي الصلب قد استخدما في تطبيقات عديدة على الصواريخ الأرض/أرض، فإنه تم التفكير في استخدام الوقود الدفعي السائل لصواريخ الفضاء. في بدايات القرن العشرين اقترح الروسي قنسطنطين زيولكفسكي استخدام الوقود السائل المكون من الأكسجين والهيدروجين، في الطيران في الفضاء، من مدخل آخر قام أستاذ الفيزياء الأمريكي روبرت جودارد Godard بعمل أبحاث عديدة عن تطوير تكنولوجيا الصواريخ والوقود المستخدم فيها، وأعلن في عام ١٩٢٦ نجاحه في تطوير صاروخ صغير له وقود دفعي من سائل الأكسجين والبنزين Gasoline. حقق صاروخ جودارد ارتفاعًا قدره ٥٦مترًا، كما بلغت سرعته حوالي ١٠٣ كيلو متر في الساعة. واصل جودارد أبحاثه حتى توصل إلى تصنيع صاروخ طوله ٤.٦ مترًا، له حركة دوارية عمودية Gyroscopic Stabilized Motion، وبلغت سرعته ١١٣٠ كيلو متر في الساعة، ووصل ارتفاعه إلى ١.٩ كيلو مترًا.

نشر الفيزيائي الألماني هيرمان أوبيرت Oberth في عام ١٩٢٣، ورقة عمل تحت اسم «الصاروخ في فضاء بين الكواكب» مقترحًا فيها فكرة صاروخ له محرك ذاتي التبريد، وله مرحلتين في رحلته إلى الفضاء. اشتمل تصور أوبيرت على أفكار أخرى خاصة بإنشاء وتصنيع الصاروخ الفضائي. أعقب ورقة عمل أوبيرت، تكوين جمعية

ألمانية لرحلات الفضاء في عام ١٩٢٧، وذلك للقيام بالأبحاث والتجارب، للوصول بأفكار أوبيرت إلى حيز التنفيذ الفعلي والعملي. التحق بالجمعية الألمانية فون براون Von Braun، الطالب في ذلك الوقت ورائد صواريخ الفضاء بعد ذلك. وفي عام ١٩٣٢ تشكلت الجمعية الأمريكية للصواريخ American Rocket Society، بادئة عملها بإجراء الاختبارات على محركات الصواريخ الفضائية.

من هذه البدايات، ومن تشكيل جمعيات خاصة بحلم رحلات الفضاء ومن خلال أبحاث علماء ومهندسين متحمسين للعمل الجاد في تطوير الصواريخ لتنطلق من كوكب الأرض إلى الفضاء الخارجي، من كل ما سبق بدأت سلسلة من التطوير لصواريخ الوقود الدفعي السائل. كان الوقود الدفعي يتكون من الأكسجين السائل، والكحول الإيثيلي، مع استخدام فوق أكسيد الهيدروجين Hydrogen Peroxide لتوليد الغازات، والبرمنجنات Permanganate لإدارة المضخات التربينية Turbo-pumps. توالت عمليات التطوير في الصواريخ الفضائية حتى وصل ارتفاعها في بدايات الأربعينات من القرن العشرين إلى ٨٥ كيلو مترًا، ووصل مداها الأفقي إلى ١٩٠ كيلومتر. بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية بهزيمة النازية الألمانية، انتقل علماء الصواريخ الألمانية إلى الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي، لتبدأ حلقة جديدة من التطوير قام بها العلماء الألمان في هاتين البلدين، والتي قامت على تكنولوجيا V-2 للصواريخ الألمانية، وبدأ عهد جديد للإنسانية في غزو الفضاء، بعد أن قام الاتحاد السوفيتي بالإعلان عن إرسال أول قمر صناعي Satellite في الرابع من أكتوبر من عام ١٩٥٧، والذي كان يسمى سبوتنيك Sputnik .

يمكن تعريف الصاروخ في صورته الحالية بأنه وسيلة دفع تغطي حركة أمامية لمركبة من خلال قذف خلفي لمواد نفاثة، تكون في الغالب غازات مرت بعمليات حرق كيميائي للوقود لترتفع درجة حرارتها، ويخرج من خلف الصاروخ عادم الاحتراق. يتكون الوقود الدفعي Propellant من مادة اشتعال وأخرى مؤكسدة Oxidizer، وقد يكون الوقود الدفعي ذاتي الاشتعال، أو تستخدم الكهرباء لتسخين

الغاز حتى يحدث الاشتعال، أو قد تستخدم الطاقة الشمسية أو التفاعل النووي لإحداث حرق الوقود. إذا كانت الآلة النفاثة تعمل بالوقود فقط بينما تحصل على المادة المؤكسدة (الأكسجين) من الهواء الجوي، فإن الصاروخ يحمل في داخله الوقود والمادة المؤكسدة؛ لأنه يعمل في الفضاء الخارجي حيث لا يوجد هواء. لذلك فإن الصاروخ يعمل داخل الغلاف الجوي، وفي الفضاء الخارجي بكفاءة أكبر، لأن غياب الهواء يسمح لغازات العادم Exhaust Gases بالوصول لأقصى سرعتها، كما تختفي الإعاقة الاحتكاكية Fractional Drag للصاروخ لمروره في فضاء خالٍ من الهواء الذي يسبب الاحتكاك، وبالتالي الحد من سرعة الصاروخ. توجد ميزة أخرى لحركة الصاروخ في الفضاء الخارجي، وهو عدم تأثير نسبة قوة الدفع إلى وزن الصاروخ Thrust-to-Weight Ratio. إن الوزن عبارة عن قوة جذب لأسفل، تحدث بواسطة الجاذبية الأرضية، أما قوة الدفع فهي التي تدفع الصاروخ لأعلى، وعلى ذلك لا بد أن تزيد نسبة قوة الدفع إلى وزن الصاروخ عن الواحد الصحيح حتى يرتفع الصاروخ لأعلى. يختفي أيضًا تأثير قوة الجاذبية الأرضية إن كان الصاروخ قريبًا من سطح الأرض ولكنه يدور في مدار Orbit حول كوكب الأرض، وبالتالي فإن وزن الصاروخ لا يصبح ذا أهمية تذكر على حركته في الفضاء، حتى إن قوة دفع صغيرة يمكن أن تحدث زيادة كبيرة في سرعة صاروخ له وزن ثقيل جدًّا. يختلف وقود الصواريخ من الكيروسين المخصوص، أو خليط من الهيدرازين Hydrazine وهيدرازين ثنائي الميثيل أو أنواع أخرى من الوقود، أما المؤكسد فقد يكون الأكسجين السائل، أو رابع أكسيد النيتروجين.

صناعة الطاقة

تحتل الطاقة Energy محورًا هامًّا في تاريخ البشرية، فتقدم الإنسان ورفاهيته على مدى العصور المختلفة، كان وما يزال مرتبطًا بالطاقة المتاحة له، يستخدمها كأداة فعَّالة لتحقيق تقدمه الاقتصادي والاجتماعي، ولتوفير سبل الراحة والرفاهية. لقد استطاع الإنسان استخدام موارد الطاقة التي ترد إلى الأرض في شكل أشعة الشمس، والتعرف على المصادر التي تكمن فيها الطاقة في باطن الأرض، وتوصل إلى استغلالها وتطويعها، ورفع كفاءة تحويلها من شكل إلى شكل آخر من أجل ملائمة مجالات الاستخدام، ومن أجل الهدف من استخدامها.

حتى القرن السابع عشر، كانت جميع استخدامات الطاقة تقريبًا يتم توفيرها من مصادر الطاقة التقليدية، كطاقة الإنسان والحيوان والروث، ومخلفات المحاصيل، وكذلك الاستفادة من طاقة الرياح وطاقة المياه والطاقة الشمسية وقت إتاحتها. كانت الشمس وما زالت أساس بقاء الكائنات الحية ومنها الإنسان على كوكب الأرض، ثم هداه سعيه إلى تحرير الطاقة الشمسية المختزنة في الخشب، وهكذا أصبحت النار الناتجة من حروق الأشجار أول مصدر غير مباشر للطاقة في خدمة الإنسان. ثم تعرف الإنسان على الوقود الأحفوري في شكل فحم أو وقود سائل وجد بالمصادفة، فاستعمله في التدفئة أو الإنارة دون أن يطوره أو يطوعه لخدمة أغراض أخرى. في

منتصف القرن السابع عشر تم حفر أول بئر بترول في إيطاليا، ثم استخدام الكيروسين في إضاءة الطرق. لم يبدأ التقدم الحقيقي في الإنتاجية إلا مع بداية تطور الطاقة الميكانيكية التي أوجدت الثورة الصناعية في إنجلترا في القرن الثامن عشر، وكان ظهورها بداية لمرحلة جديدة من مراحل علاقة الإنسان بالطاقة.

المصادر التقليدية للطاقة

الفحم

بدأ استخدام الفحم كمصدر للطاقة مع اكتشافات القرن التاسع عشر، ليشكل معالم طريق الثورة الصناعية في العالم الغربي، خاصة بريطانيا العظمى -في ذلك الوقت- ثم ألمانيا وفرنسا والولايات المتحدة. كانت بريطانيا العظمى تنتج من الفحم الحجري ٨٠ مليون طن عام ١٨٦٠، ٣٠٠ مليون طن عام ١٩١٣، تصدر منها قرابة مليون طن. إن الفضل يرجع إلى الفحم مع السيطرة على المحيطات والمستعمرات الشاسعة في أن تصبح بريطانيا أكبر دولة تسيطر على العالم صناعيًّا. إذا كانت روسيا وأمريكا والصين تملك ثلثي إلى ثلاثة أرباع الاحتياطي العالمي من الفحم، فإن الفائض المتبقي في البلاد التي تحوي كميات كبرى من احتياطي الفحم مثل استراليا وجنوب أفريقيا وكندا يكون مقدارًا هامًّا يقدر بمئات المليارات من الأطنان. في حساب التوازن العالمي، يؤخذ في الاعتبار إنتاج الدول النامية مثل: البرازيل، المكسيك، كولومبيا، كوريا الجنوبية، تايوان، تايلاند، كوريا الشمالية، فيتنام، الهند وتركيا. يتبين من سرد الدول التي تحوي احتياطيًّا للفحم، إن التوزيع الجغرافي للاحتياطي وكذلك الإنتاج متوازن ومستقر إلى حدٍ كبير بخلاف مصادر الطاقة الأخرى.

البترول والغاز

كان البترول وما زال له النصيب الأكبر في تشكيل حضارتنا الحديثة وعادات استهلاكنا من الطاقة ومن معظم مستلزمات الحياة لارتباط البترول ومنتجاته بها. إن البترول والغاز هما المصدر الرئيسي للطاقة، يُمدَّان الاستهلاك العالمي بنسبة تصل إلى حوالي الثلثين. إذا كانت الولايات المتحدة أول من أنتج البترول عام ١٩٢٩ على

مستوى تجاري فإن أوروبا -فيما عدا روسيا ورومانيا- كانت خالية من البترول. وكان الإنجليز قد عثروا عليه في إيران والهولنديون في إندونيسيا فلما ذاعت أخبار العثور على البترول في الشرق توجهت خمس شركات أمريكية كانت تنتج ٣٠٪ من بترول أمريكا إلى الشرق الأوسط. وصل البترول المستخرج من هذه المنطقة إلى ٧٢ مليون طن، وهذا يعني أن إنتاج الشرق الأوسط كان يفوق إنتاج الولايات المتحدة الأمريكية. تضاعف إنتاج البترول في الشرق الأوسط أربع مرات خلال ١٢سنة، من ١٩٤٩ إلى ١٩٦١، ثم تضاعف مرتين في سبع سنوات تالية من ١٩٦١إلى ١٩٦٨، وخلال الخمس سنوات التالية حتى ١٩٧٣ يسجل تضاعف أخير لمرتين تقريبًا فيصل الإنتاج إلى مليار و ٥٠مليون طن.

يتركز البترول والغاز الطبيعي في الشرق الأوسط وفي بحر الشمال وفي سيبيريا. ويمد بترول الخليج العربي (في السعودية، والكويت، والإمارات العربية المتحدة، والعراق، وقطر، وإيران) السوق العالمي بحوالي ربع الطلب عليه، وتشكل هذه الدول حوالي ثلثي احتياطيات العالم المؤكدة من البترول والتي تبلغ نحو تريليون برميل. تعد الصناعة القائمة على البترول أكبر صناعة في العالم، لتركيزها في عدد صغير نسبيًّا من الشركات العالمية المتخصصة في البحث والتنقيب والتسويق، ومن الدول المنتجة. إن الاطمئنان إلى أسعار منخفضة للبترول جعل البحث التكنولوجي في مجال الطاقة يسير بهوادة وتلبد. لم يتجه الإنسان إلى مصادر أخرى غير تقليدية للطاقة عندما كان سعر البترول لا يتجاوز اثنين دولارين للبرميل حتى بدايات السبعينات من القرن الماضي. لم تنته ثقافة الإسراف في استهلاك الطاقة -خاصة في الغرب- إلا بعد ارتفاع أسعار البترول. في النصف الثاني من سبعينات القرن الماضي وبعد الارتفاع في أسعار النفط، والذي بلغ ٤٠٠ ٪ في نهاية ١٩٧٣، تغير نمط استهلاك الطاقة في العالم كله، وبدأ خبراء الطاقة في التحذير من نضوب هذا المصدر الهام، وتشجيع البحث والتطوير في مجالات الطاقة الغير تقليدية.

مع تزايد الاستهلاك وارتفاع الأسعار، فإن استغلال المصادر غير تقليدية،

والأساليب الجديدة لاستعاضة الزيت من الصخور ومما يصاحبه من غاز -قد نحرقه بدون الاستفادة منه- سوف تصبح ممكنة واقتصادية مستقبلاً، إن الزيوت الثقيلة من إقليم أورينوك في فنزويلا وهو منبع هائل يحتوي على ٣٠٠٠ بليون برميل وكذلك بترول البحار القطبية، وبترول أعماق البحار تشكل احتياطات إضافية ضخمة، منتظرة تطور تقنيات التنقيب والضخ بتكلفة معقولة.

الطاقة النووية

ترتبط النيوكليونات التي تتكون منها النواة بواسطة قوى فائقة للغاية تنخفض بشكل أساسي باتساع المسافة، وهذه القوى تحافظ على التماسك والترابط داخل النواة بالرغم من قوى التنافر الكهربائية بين البروتونات. ويمكن تعيين الطاقات النووية بقياس انخفاض كتلة النواة بالنسبة لمجموعة كتل النيوكليونات التي تكونها اعتمادًا على علاقة الكتلة بالطاقة التي وضعها أينشتين (الطاقة = الكتلة × مربع السرعة). تعتبر العناصر ذات الأرقام الذرية المتوسطة هي التي تتمتع بأكبر طاقات الترابط إذا قيست بالنسبة لوحدة الكتلة، لذلك فمن الممكن إطلاق طاقة بواسطة صهر نواتين خفيفتين في نواة واحدة، وهذه تسمى بطاقة الاندماج أو طاقة الصهر، وعلى نقيض ذلك عندما تنشطر نواة ذرة ثقيلة إلى جزأين، فعندئذ تكون طاقة الانقسام أو الانشطار هي المنطلقة. ومن أجل اندماج نواتين خفيفتين، فلا بد من تقريب المسافة بينهما حتى تتداخل قوى الترابط النووي مع بعضها، وتتغلب على القوى الكهربائية المنفرة، إنها نفس طاقة الإندماج التي تحافظ على أشعة توهج النجوم. ومن أجل إحداث انشطار ذرات ثقيلة، فلا بد من تسليط عنصر ذري عليها، ولكن حيث إن شحنتها الكهربائية كبيرة، فلا يمكن استخدام، إلا قذائف ثقيلة وغير مشحونة كهربائيًا أي نيترونات.

عندما يتقابل نيترون مع نواة ثقيلة، فقد يحدث عدة احتمالات، قد تكون لمسة أو صدمة بسيطة مرنة تبقي الطاقة الكهربائية فيها محفوظة، وينقل النيترون جزءًا من طاقته للنواة، كما يمكن أن تكون الصدمة غير مرنة، أي إن النيترون يمتص في النواة،

ثم يعاود انبعاثه، ولكن بطاقة أقل، وأخيرًا يمكن أن يمتص النيترون نهائيًا في النواة مع تكوين عنصر جديد. فمثلاً اليورانيوم ٢٣٨ يتحول إلى عنصر جديد هو البلوتونيوم ٢٣٩ من جراء هذه العملية الذرية. في بعض الحالات النادرة يستطيع النيترون أن يقسم ويشطر النواة إلى قطعتين كما اكتشف هان واشترسمان عام ١٩٨٣، وهذه هي حال اليورانيوم ٢٣٥ حيث تنشطر النواة إلى نواتين اثنتين غير متساويتين تمامًا. هذا النوع من النواة يسمى قابل الانشطار -ونواة البلوتونيوم ٢٣٩ هي أيضًا نواة قابلة الانشطار- واليورانيوم ٢٣٨ القادر على إنجاب نواة قابلة الانشطار يسمى خصيبًا.

يصاحب انشطار النواة إطلاق طاقة هائلة على شكل طاقة كيناتيكية تنقل إلى نواتج الانشطار بالنسبة للجرام الواحد من اليورانيوم، فإن هذه الطاقة تساوي ٢٢،٧٠٠ كيلو وات ساعة، بينما لا يطلق حرق جرام واحد من البترول سوى ٠،٠١١٦ كيلو وات ساعة. في عملية استخدام التفاعلات النووية لإنتاج الحرارة، يستخدم سائل وسيط لنقل الحرارة الناتجة من التفاعلات، بعيدًا عن قلب المفاعل. يحتوى قلب المفاعل النووي على الوقود المستخدم (مثل اليورانيوم)، والمهدئ، والسائل الوسيط ناقل الحرارة وقضبان التحكم في نشاط التفاعل. يحاط قلب المفاعل ببنية هيكلية خرسانية سميكة لمنع أي تسرب إشعاعي. إذا استخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود فيمكن استخدام الماء الثقيل أو الجرافيت كمادة مهدئة، والماء الثقيل وغاز ثاني أكسيد الكربون كسائل حامل للحرارة. يوجد اليورانيوم في الطبيعة بخاصية عدم ثبات نظائره، فنواتها تتحول تلقائيًا إلى نواة من فصيلة أخرى مع إطلاق جسيم مشحون بشحنة كهربائية، وهذا ما يسمى «بالإشعاعية الطبيعية».

قامت الولايات المتحدة في عام ١٩٥١ بإنتاج أول كيلو وات ساعة من الكهرباء المولدة من المفاعلات النووية تعمل بالنيترونات السريعة. بدأ برنامج فرنسا النووي عام ١٩٦٧ مستخدمًا نفس التقنية الأمريكية. تستخدم الولايات المتحدة الأمريكية حاليًا نظام مفاعلات الماء الخفيف المغلي، وفي المملكة المتحدة يستعمل مفاعلات الجرافيت والغاز المتقدمة، والتي رفعت فيها درجة التشغيل بسبب إحلال أكسيد

اليورانيوم محل فلز اليورانيوم الطبيعي، كما تقام في المملكة المتحدة أيضًا مفاعلات الحرارة المرتفعة التي تستخدم الهيليوم لنقل الحرارة، والقلب مغلف بالجرافيت كمادة مهدئة. أما في كندا، فإنهم يستخدمون مفاعلات اليورانيوم الطبيعي، حيث يلعب الماء الثقيل دورًا مزدوجًا للتهدئة والنقل الحراري معًا في دائرتين مختلفتين. لا يعدو المفاعل النووي لتوليد الكهرباء سوى غلاية معقدة بعض الشيء، تستخرج منها الحرارة لتوليد البخار الذي يدفع إلى تربينه لتوليد طاقة ميكانيكية، ثم إلى مولد كهربي للحصول على الكهرباء.

الطاقات الجديدة والمتجددة

نتيجة للانفجار الهائل في معدلات نمو استهلاك الطاقة على مستوى العالم، واقتراب نضوب المصادر التقليدية، بالإضافة إلى التأثير الضار بالبيئة من حرق الفحم والمنتجات البترولية فقد اتجهت دول العالم إلى التوسع في استخدام الطاقات الجديدة والمتجددة New and Renewable Energies، خاصة بعد عام ١٩٧٣، واستخدم العرب البترول كقوة ضغط نتج عنه ارتفاع أسعاره بشكل مؤثر على الاقتصاد العالمي. بدأ العالم على اختلاف أنظمته الاقتصادية في الاهتمام بالبحث والتطوير في استخدام مصادر الطاقات الجديدة والمتجددة، حيث بلغ نسبة مشاركتها في إجمالي الطاقة المستهلكة حاليًا(١٠-١٥٪)، ومن المتوقع أن ترتفع هذه النسبة إلى (١٨-٢٠٪) بحلول عام ٢٠٢٠.

تعتبر الشمس بطريقة مباشرة أو غير مباشرة هي مصدر الطاقات الجديدة والمتجددة، والتي لا تنضب إلا بانتهاء المنظومة الشمسية. قدر العلماء المحتوى الحراري المخزون بالقشرة الأرضية إلى عمق حوالي ١٠ كيلو مترات، بحوالي ١٢.٦ $\times$ ١٠ ^{١٦} طن بترول. وتقدر كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض في العام الواحد بما يقرب من ١٠ ^{١٨} كيلو وات ساعة، وتختلف كمية الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المتر المربع على الأرض حسب خطوط العرض والفصل المناخي السنوي بما يحدد الزوايا النسبية بين الأرض والشمس، وموقع المكان على الأرض ووضعه

النسبي في مواجهة الشمس.

تتلخص أنواع الطاقات الجديدة والمتجددة في المجالات الرئيسية الآتية:

الطاقة الشمسية

منذ قديم الزمان قام الإنسان بالاستفادة من الطاقة الشمسية Solar Energy في تجفيف المحاصيل الزراعية، وتدفئة منزله. وفي الوقت الحالي، أمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وطاقة حرارية من خلال التحويل الكهروضوئي والتحويل الحراري. يعني التحويل الكهروضوئي تحويل الإشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية (الكهروضوئية).

يوجد بعض المواد التي تقوم بعملية التحويل الكهروضوئي تسمى بأشباه الموصلات كالسيليكون والجرمانيوم وغيرها. تم اكتشاف هذه الظاهرة بواسطة بعض علماء الفيزياء في أواخر القرن التاسع عشر الميلادي حيث وجدوا أن الضوء يستطيع تحرير الإليكترونات من بعض المعادن. تتميز الخلايا الشمسية Solar Cells بأنها لا تشمل أجزاء أو قطعًا متحركة، وهي لا تستهلك وقودًا، ولا تسبب تلوثًا للبيئة، والعمر الافتراضي لها قد يصل إلى عشر سنوات. يتحقق أفضل استخدام لهذه التقنية بدون مركزات أو عدسات ضوئية ولذا يمكن تثبيتها على أسطح المباني ليستفاد منها في إنتاج الكهرباء وتقدر عادة كفاءتها بحوالي ٢٠٪، أما الباقي فيمكن الاستفادة منه في توفير الحرارة للتدفئة وتسخين المياه. تستخدم الخلايا الضوئية أيضًا في تشغيل نظم الاتصالات، وفي إنارة الطرق والمنشآت، وفي ضخ المياه، في الأماكن النائية والبعيدة عن المصادر التقليدية للكهرباء. أما التحويل الحراري للطاقة الشمسية فيعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات (الأطباق) الشمسية والمواد الحرارية. فإذا تعرض جسم داكن اللون ومعزول حراريًا، إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع وترتفع درجة حرارته. يستفاد من هذه الحرارة في التدفئة والتبريد وتسخين المياه وتوليد الكهرباء وغيرها. تعد تطبيقات السخانات الشمسية هي

الأكثر انتشارًا في مجال التحويل الحراري للطاقة الشمسية. يلي ذلك من حيث الأهمية المجففات الشمسية التي يكثر استخدامها في تجفيف بعض المحاصيل الزراعية، كذلك يمكن الاستفادة من الطاقة الحرارية في طبخ الطعام داخل المنزل.

ترتبط الاستفادة بالطاقة الشمسية بوجود أشعة الشمس طيلة وقت الاستخدام، وعليه تم استخدام تقنية تخزين الطاقة الشمسية للاستفادة منها أثناء فترة احتجاب الإشعاع الشمسي. وهناك عدة طرق تقنية لتخزين الطاقة الشمسية تشمل التخزين الحراري، والكهربائي، والميكانيكي، والمغناطيسي وتعد بحوث تخزين الطاقة الشمسية من أهم مجالات التطوير اللازمة في تطبيقات الطاقة الشمسية وانتشارها على مدى واسع، حيث إن الطاقة الشمسية رغم أنها متوافرة إلا أنها ليست في متناول اليد وليست مجانية بالمعنى المفهوم، فتكلفتها الحقيقية هي تكلفة المعدات المستخدمة لتحويلها من طاقة كهرومغناطيسية إلى طاقة كهربائية أو حرارية، وكذلك تخزينها إذا دعت الضرورة. ورغم أن هذه التكاليف حاليًا تفوق تكلفة إنتاج الطاقة التقليدية إلا أنها لا تعطي صورة كافية عن مستقبلها بسبب أنها آخذة في الانخفاض المتواصل بفضل البحوث الجارية والمستقبلية، وزيادة الطلب عليها.

طاقة الرياح

يتم استغلال طاقة الرياح Wind Energy عن طريق مراوح هوائية تستغل طاقتها الميكانيكية مباشرة لأغراض ضخ المياه أو يتم عن طريقها إدارة مولدات كهربائية لتوليد الكهرباء والربط بشبكات النقل والتوزيع الكهربي. تمثل التوربينات الريحية ذات المحور الأفقي الغالبية العظمى المستخدمة في العالم، ويتفاوت عدد الريش في هذا النوع من التوربينات من ريشة واحدة إلى ثلاث ريشات، ويتميز هذا النوع بسرعة دوران عالية مقارنة بالتوربينات متعددة الريش المستخدمة في عمليات ضخ المياه بالنظام الميكانيكي، وغالبًا ما يستخدم صندوق تروس له نسبة تحويل معينة للحصول على السرعات العالية التي يحتاج إليها المولد، ويصل معامل القدرة لها إلى حوالي ٠.٤ عندما تكون سرعة الدوران عند طرف الريشة من ٤ إلى ٦ أضعاف سرعة الرياح

المتدفقة على التوربينة كما تتميز بخفة الوزن وخصوصًا بعد إدخال الألياف الزجاجية في عمليات تصنيع الريش بدلاً من المعادن والأخشاب. وتصنف التوربينات الريحية حسب أحجامها وقدرتها التي تتراوح بين خمسة إلى ألف كيلو وات. توجد توربينات كبيرة الحجم ما تزال في دور التجربة ذات سعة ٣ ميجاوات وتربينات عملاقة تصل قدرتها إلى ٤،٥ ميجاوات وهي لا تزال في مرحلة البحث والتطوير.

لتحسين اقتصاديات طاقة الرياح يمكن توصيل مجموعة من توربينات الرياح كهربيًّا لتشكل مزرعة رياح Wind Farm تُربط بالشبكة الكهربية. في حالة وجود مزرعة الرياح بعيدًا عن الشبكة الكهربية يتم تركيب وسيلة لتخزين الطاقة الكهربية المولدة من طاقة الرياح لإعادة استخدامها في الأوقات التي لا تكون فيها الرياح متاحة، أو تنخفض سرعاتها إلى مستوى لا يشغل التوربينات، أيضًا قد يضاف مولد كهربي مساعد يعمل بالديزل، إلى مزرعة الرياح، لتوليد الكهرباء في أوقات عدم إتاحية طاقة الرياح. تعتبر سرعة الرياح التي تتراوح ما بين ٨-١٢ متر / الثانية من السرعات المناسبة والتي يمكن استغلالها اقتصاديًّا في توليد الكهرباء.

طاقة الكتلة الحيوية والغازات المصاحبة لها

تشمل الكتلة الحيوية Bio-Mass كل من النباتات، والأسمدة العضوية، وخشب الغابات، والنفايات (الفضلات العادية). يمكن تجهيز الكتلة الحيوية الخام وتحويلها إلى وقود سائل أو غازي أو صلب. يعتبر الإيثانول Ethanol أو الكحول الإثيلي واحدًا من أفضل أنواع الوقود المستخلصة من الكتلة الحيوية، وهو يستخرج من محاصيل الذرة والمحاصيل السكرية. ويمكن خلط الإيثانول مع الجازولين لإنتاج الجاز هول Gashol، وتجرى التجارب لإيجاد طرق اقتصادية لاستخدام الكتلة الحيوية في توليد الكهرباء باستخدام غاز الميثان Methane المنطلق من المواد النباتية والمخلفات الحيوانية المتحللة، كوقود في الغلايات البخارية.

إن تقنية إنتاج غاز الميثان من الفضلات الزراعية معروفة منذ قديم الزمن، ولكنه

أصبح طاقة بديلة قابلة للتطبيق خاصة في المناطق الريفية، وعلى المستوى التجاري خلال أزمة النفط في السبعينات من القرن الماضي، حيث أخذت الكثير من الشركات في التركيز على إنتاج الغاز الحيوي Bio-Gas والذي يعطي حوالي ٦٠ ٪ ميثان. لقد دخل الغاز الحيوي سوق التجارة الدولية، ومن بين الدول التي تعمل في هذا المجال سنغافورة، وبعض دول أمريكا اللاتينية، بينما ركزت كل من الهند والصين على تصميم أفران لحرق الكتلة الحيوية أو استخراج الغاز الحيوي منها، واستغلال الطاقة المستخرجة منها في عمليات الطهو وتسخين المياه في الريف.

الطاقة الكهرومائية

تقوم الطاقة الموجودة في ضوء الشمس بتبخير المياه من المحيطات والبحار والأنهار والمسطحات المائية، ونقلها إلى الأرض في شكل أمطار، ليسقط بعضها في البحار والمحيطات، ويتحول بعض آخر إلى أنهار ومخرات مياه. يمكن استغلال طاقة الوضع لمياه الأنهار، أو فرق المناسيب في توليد طاقة ميكانيكية أو كهربائية. استغل الإنسان طاقة وضع المياه لتوفير الطاقة لمطاحن الغلال أو استخدامها في مجالات أخرى. كان أول استخدام للماء المتساقط لتوليد الكهرباء في ساقية مائية بنهر «فوكس» بولاية ويسكنسون بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٨٨٢ أي بعد عامين من اختراع توماس أديسون المصباح الكهربي. منذ ذلك الحين تم استكمال بناء أول محطة طاقة كهرومائية Hydro Power في شلالات نياجرا في أمريكا الشمالية، ليستمر العمل بعد ذلك في إنشاء العديد من محطات القوى الكهرومائية.

تمثل الطاقة الكهرومائية حوالي ١٩٪ من الإنتاج للطاقة الكهربية، ولكن ما زال حوالي ٦٧٪ من الطاقة الكهرومائية في العالم لم تستغل. استغلت أوروبا ٧٥٪ من طاقتها الكهرومائية، أما نسبة المستغل في أمريكا الشمالية فيبلغ ٦٩٪ ، بينما تصل هذه النسبة ٣٣٪ في أمريكا الجنوبية. جاءت قارتي آسيا وأفريقيا في المؤخرة فبلغت نسبة استغلال الطاقة الكهرومائية في آسيا ٢٢٪ ، وفي أفريقيا ٧٪ فقط، بالرغم من أن الطاقة الكهرومائية التي يمكن استغلالها في قارة أفريقيا تبلغ آلاف البلايين من الكيلو وات ساعة.

تتميز وحدات التوليد الكهرومائية بارتفاع كفاءتها، خاصة بالنسبة لوحدات التوليد الحرارية، وكذلك ارتفاع معامل الاعتمادية، وانخفاض معدل أعطالها، وتعتبر الطاقة الكهرومائية من الطاقات النظيفة التي لا تسبب تلوثًا للبيئة. تعتمد كمية الطاقة الناتجة من المحطات الكهرومائية على فرق المنسوب، وكمية المياه التي تمر من خلال التوربينات Turbine التي تقوم بتحويل طاقة الماء إلى طاقة ميكانيكية. يتم تحويل دوران توربينات الماء إلى مولد Generator لإنتاج الطاقة الكهربية. يتراوح فرق سقوط المياه من عدة أمتار إلى مئات من الأمتار، وتختلف نوع التوربينة باختلاف فرق السقوط، كما يوجد توربينات لاستغلال سرعة جريان الماء في الأنهار. تقوم بعض من مشاريع القوى الكهرومائية على بناء سدود لحجز المياه من أجل مشاريع الري، وأيضًا لإيجاد فرق منسوب يرفع من اقتصاديات مشروعات القوى الكهرومائية. استغلت كثير من الدول هذه الطاقة لتوليد الكهرباء، مثل كندا والنرويج والصين والبرازيل والولايات المتحدة وروسيا وفرنسا ومصر.

تملك قارة أفريقيا إمكانيات هائلة غير مستغلة لتوليد الطاقة الكهرومائية خاصة في حوض نهر زامبيزي في الجنوب الأفريقي وفي نهر أنجا بزائير والتي تبلغ القدرات المحتمل استغلالها Potential Power حوالي اثنى عشر مليون كيلو وات، أيضًا توجد في الكاميرون والجابون والكنغو وزامبيا وتنزانيا وأوغندا مصادر وفيرة من الطاقة المائية، ولكن أدى انخفاض الطلب على الطاقة الكهربائية في هذه البلاد إلى عدم جدوى هذه المشروعات اقتصاديا. جرت بعض الدراسات لاستغلال الطاقة المائية في أفريقيا لتوليد الكهرباء ونقلها عبر خطوط كهرباء ذات الضغط العالي إلى أوروبا، لتحل محل محطات القوى الكهربائية الحرارية والتي تعمل بالوقود الأحفوري الملوث للبيئة.

طاقة حرارة باطن الأرض

طاقة حرارة باطن الأرض Geothermal Energy هي طاقة حرارة طبيعية مصدرها الباطن المنصهر للأرض، ومعظم هذه الحرارة ناتج من انحلال العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم المتواجدة داخل أعماق غائرة في الأرض، وكذلك نتيجة الاحتكاك في الأعماق أسفل القشرة الأرضية. وهذه الطاقة تنبعث من داخل الأرض بكثافة ضئيلة جدًّا فيما عدا المناطق التي على طول أحرف هضاب القشرة الأرضية، وفي المناطق المعروفة بالبراكين والزلازل. تعتبر الينابيع الحارة والحمة الفوارة Geysers نتاج الطاقة الحرارية في باطن الأرض. يمكن للحرارة الأرضية تدفئة أو غليان المياه الجوفية والتي تصعد إلى السطح على هيئة مياه ساخنة أو بخار. في بعض الأماكن من كوكب الأرض يمكن استخدام هذا البخار مباشرة في التدفئة والتسخين داخل المنازل أو في العمليات الصناعية، أو استخدامه لإدارة التوربينات الحرارية لتوليد الكهرباء.

بدأ استخدام طاقة حرارة الأرض تجاريا عام ١٩٠٤ بمدينة لارديرلو بإيطاليا، ثم لتوليد الطاقة الكهربائية عام ١٩١٣، ثم انتشرت في بعض الدول الأخرى مثل إندونيسيا واليابان والفلبين والولايات المتحدة الأمريكية. تعتبر مشكلة الإصلاح والمعادن المتحللة والمترسبة من المشاكل الهامة في استغلال طاقة باطن الأرض، فالمياه الجوفية -في أغلب الأحيان- تحتوي على أملاح، بعضها يمكن أن يتسبب في تآكل المواسير التي تحمل البخار أو المياه الساخنة من باطن الأرض. أما المعادن فيمكن أن تسبب مشاكل أكبر، فهي تنفصل عن المياه أو البخار، وتؤدي إلى انسداد المواسير وتآكلها نتيجة لما تسببه من صدأ.

مصادر أخرى من الطاقات الجديدة والمتجددة

تحتوي أمواج المحيطات Wave Energy على طاقة لا بأس بها، حيث إن منتصف المحيط به أمواج بارتفاع ١.٥ متر وتتكرر على فترة ثماني ثوان. تقدر طاقة المحيطات نظريًا بحوالي ثلاثة آلاف مليون كيلو وات، ولكن عمليًّا لا يمكن الاستفادة إلا بجزء

صغير منها. ما زال استخدام طاقة المحيطات في مرحلة البحث والتطوير، وتتركز في تحويل حرارة المحيطات والتي يمكن بها استخدام فرق درجات الحرارة بين مياه سطح المحيطات وعمقها لتوليد الطاقة الكهربائية. أما طاقة المد والجزر Tidal Energy فهي تتولد من طاقة حركة مياه البحار والمحيطات بفعل الجاذبية لكل من القمر والشمس، وكذلك بفعل الرياح. اهتمت بعض الدول باستغلال طاقة المد والجزر مثل فرنسا وروسيا والصين. لاستغلال هذه الطاقة اقتصاديًا يجب أن يبلغ فرق ارتفاع المياه بين المد والجزر إلى حوالي ٣-٥ أمتار.

يقدر الاحتياطي العالمي من الطفلة الزيتية بما يقرب من ٤٧٥ ألف مليون طن، ويخص أمريكا حوالي ثلثي هذا الاحتياطي العالمي. يوجد تجارب عديدة لاستخلاص البترول من الطفلة الزيتية Oil-Shale ولكن العائد الاقتصادي ما زال غير مجد في الوقت الحالي. تتركز الرمال القيرية في مقاطعة ألبرتا بكندا، ويوجد كميات أخرى في بعض البلاد مثل فنزويلا، وأمريكا، وروسيا ومدغشقر. يمكن معالجة الرمال لاستخلاص الزيت منها بطرق اقتصادية في المستقبل القريب. تستخدم طاقة الحث Peat Energy -ذات القيمة الحرارية المنخفضة- في المقام الأول في روسيا وأيرلندا لتوليد الكهرباء كبديل للفحم.

دأب العلماء على البحث عن منابع وقود إضافية، وتوصلوا إلى أن بعض أنواع النباتات يتشكل في أنسجتها هيدروكربونات وقودية تشبه بتكوينها تلك الموجودة في النفط وتسمى "النفط البيولوجي" الذي يعتبر أفضل من النفط المستخرج من باطن الأرض لانعدام وجود الكبريت والشوائب الضارة في خواصه. يوجد في الفلبين أشجار الجوز التي تحتوي على نفط نباتي، وقد استعمله اليابانيون أثناء الحرب العالمية الثانية. وتنمو في غابات الأمازون شجرة كوبايبو التي يبلغ ارتفاعها ثلاثين مترًا، ومن شق حز على جذع هذه الشجرة يمكن الحصول على نحو عشرين لترًا من وقود الديزل الممتاز الذي يمكن استعماله مباشرة كوقود لتسيير السيارات. تستخلص اليابان الكحول من مصاصة قصب السكر وتستعمله كوقود بدلاً من البنزين.



صناعة الكيماويات

شهدت ألمانيا قدرًا كبيرًا من تطور صناعة الأصباغ التركيبية، وحققت الكيمياء العضوية إسهامًا مهمًا في نهضتها لتصبح البلد الصناعي المهيمن على أوروبا حتى إنها فاقت بريطانيا في مجالات عدة قبل نهاية القرن التاسع عشر، وجرت عمليات تحليل لمادة أخرى شائعة هي السليلوز من لب الخشب أو من مواد نباتية أخرى. أفضى ذلك إلى تطورات ثلاثة بارزة في الصناعة الكيميائية العضوية وهي: المواد شديدة الانفجار، والمنسوجات الصناعية، واللدائن أو البلاستيك. وكذلك صناعة المواد شديدة الانفجار من مركبات حامض النيتريك مع مادة السليلوز، وكذلك إنتاج ألياف النسيج الاصطناعي عن طريق مركب من خليط سليلوزي مع مواد مختلفة تزيده صلابة، وأصبح بالإمكان صناعة خيوط شديدة الدقة واستعمالها باسم الرايون أو الحرير الاصطناعي. وبحلول نهاية القرن التاسع عشر بدأ تسويق هذا النوع من الحرير الاصطناعي لمصانع النسيج لخلطها عادة بألياف طبيعية. وأخيرًا بدأ استخدام النايلون والمجموعة وثيقة الصلة من الألياف الاصطناعية. أصبح معروفًا أن هذه المواد الجديدة أقوى من الألياف الطبيعية ولها استعمالات عدة أكثر منها. شهد المطاط تطورًا صناعيًّا كبيرًا خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر. كانت اللدائن أو المواد البلاستيكية الاصطناعية الجديدة تصنع أول الأمر من أخلاط سليلوزية عن طريق إضافة مواد تكسبها صلابة، ومع نهاية القرن استخدم السليليويد لصناعة

ياقات القمصان الرجالي وأفلام التصوير. وفي العام ١٩٠٧ أنتج الكيميائي البلجيكي بايكلاند مادة صمغية عن طريق خليط من الفورمالدهايد والفينول. وتبين أنه عند تسخين هذا الخليط يمكن تشكيله في صورة مادة صلبة تعرف في السوق باسم الراتنج الصناعي أو الباكلايت. وتتميز هذه المادة بخواص عازلة مما أدى إلى شيوع استخدامها في التركيبات الكهربائية.

بدأت الصناعة الكيميائية العضوية ببحث ودراسة مشتقات قار الفحم، ولكنها بدأت في القرن العشرين تعتمد اعتمادًا مكثفًا على منتجات صناعة النفط. إن مادة القار أو البيتومين معروفة منذ أقدم العصور كمصدر لزيت الإضاءة، ولكن في عام ١٨٥٠ فقط عرفت البشرية لأول مرة أول بئر أمكن بنجاح استخدام موارده المطمورة تحت الأرض من الزيت أو النفط الخام وكان ذلك في الولايات المتحدة، وهكذا بدأت تظهر إلى الوجود صناعة النفط، والصناعات الكيميائية المرتبطة بها لتصبح من أهم الصناعات في العصر الحديث.

الطباعة

بدأت الطباعة Printing في أوروبا في القرون الوسطى بانتساخ الصور عن طريق الحفر على ألواح من الخشب أو على أختام ثم تطبع على الورق. بدأ عدد من المخترعين -منفردين- في غرب أوروبا صناعة حروف منفصلة من الخشب أو المعدن يمكن جمعها معًا لتكون الكلمات. أما الورق فكان العرب قد تعلموا صناعته من الصين ونقلوا هذه الصنعة إلى إسبانيا حيث أقاموا في القرن الثالث عشر أول مصنع للورق في أوروبا. قد يكون الهولندي لاورنس كوستر Coster هو أول من طبع كتابًا بطريقة الحروف المنفصلة في القرن الخامس عشر، ولكن يعتبر الألماني يوهانس جوتنبرج Gutenberg هو الذي سبق إلى إتقان فن الطباعة في نفس القرن. بدأ جوتنبرج تصنيع قوالب لسبك حروف معدنية صغيرة متساوية في الحجم يمكن جمعها معًا لتكون الكلمات والسطور، كما اخترع طريقة للتحبير المتجانس، واخترع مكبسًا يدويًا يحقق الضغط المطلوب للطبع. أتم جوتنبرج في عام ١٤٥٦ طباعة الكتاب المقدس كاملاً بعد جهد شاق استمر ثلاث سنوات، انتقلت تكنولوجيا الطباعة من ألمانيا إلى إيطاليا وفرنسا، ثم بعد ذلك إلى إنجلترا في عام ١٤٧٤. حررت الكلمة المطبوعة الفكر الإنساني من عقالها، وانتشرت في جميع أنحاء أوروبا لتحارب التخلف والجهل، فكانت نقطة تحول هامة نحو بداية عصر العلم الحديث في أوروبا في القرن السابع عشر.

ظلت طريقة الطباعة ثلاثة قرون ونصف القرن على الهيئة التي تركها جوتنبرج، فكانت الحروف تطبع يدويًّا، وكان الطبع يتم بمكابس يدوية. ظهرت المنشورات ذات الطابع الصحفي لأول مرة في عام ١٥٢٩، عندما أصدرت السلطات النمساوية منشورات وزعتها في أوروبا كلها لتنبه الدول الأوروبية الأخرى إلى الغزو التركي. أما الجريدة الأولى فقد ظهرت في مدينة ستراسبورج في عام ١٦٠٩، وفي عام ١٦٢٢ أصدر الإنجليزي ناثانييل باتر Butter مجلته الأسبوعية "ويكلي نيوز". في عام ١٨١٢ صمم الألماني -المهاجر إلى إنجلترا- فريديريك كوينج Koenig آلة الطباعة البخارية، وقامت جريدة التيمز اللندنية بتشغيل التكنولوجيا الجديدة في مطابع جريدتها. كانت طريقة الطباعة حتى ذلك الحين تتم يدويًّا، فيمسك العامل فرخ الورق بيده ويضعه على الحروف المصفوفة بعد تحبيرها بالاستعانة بأسطوانات يدوية، ثم يحرك المكبس بيده أو رجله فيتم الطبع، ثم يرفع الفرخ المطبوع وتعاد الكرة. قامت فكرة كوينج على جعل الحروف المصفوفة في إطار يتحرك جيئة وذهابًا تحت دلافين التحبير، فخفف العبء على العامل الذي أصبح -فقط- يضع فروخ الورق على الآلة التي تتولى العمل كله، فإذا فرغت الآلة من الطبع دفعت الفروخ المطبوعة إلى الخارج.

دخل على الطباعة بعد اختراع كوينج بخمسين عامًا، تحسين آخر يتمثل في المطبعة الدوارة والتي صنعها الأمريكي ويليام بالوك Bullock في عام ١٨٦٣. تستخدم المطبعة الدوارة شريطًا من الورق طوله بضعة كيلو مترات، ملفوفًا على بكرة كبيرة تدور باستمرار، وكذلك تستخدم قوالب طباعة أسطوانية على عكس مطبعة كوينج التي تستخدم قوالب طباعة مسطحة تركب على دلافين دوارة. في عام ١٨٩٠ قام المخترع الألماني/الأمريكي أوتمار ميرجنتالر Mergenthaler بتصنيع آلة اللينوتيب Linotype أي صفافة السطور. تقوم هذه الآلة بصناعة قوالب الطباعة التي تسبكها سطرًا سطرًا حسب الطول المطلوب والذي يناسب سعة عمود الجريدة، وعلى العامل أن يضرب لوامس اللينوتيب فتنفصل أمهات الحروف المطلوبة واحدة واحدة من المخزن المركب أعلى الآلة. أما "أم الحروف" فهي عبارة عن قطعة من المعدن المسطح احتفر في طرفها

الأعلى الحرف، وتسقط هذه الأمهات في علبة التجميع حتى يكتمل السطر. كما توجد صفائح صغيرة يطلق عليها اسم صفائح التفريق، توضع بين الكلمات المصفوفة حتى يصبح السطر محكم تمامًا. إذا تم اكتمال السطر، ضغط العامل على مقبض خاص لينتقل سطر الأمهات آليا حيث ينصب عليه المعدن المنصهر، ويتم التبريد بسرعة بعد السبك مباشرة، وينطلق السطر المسبوك بعد أن تهذبه سكاكين خاصة، إلى مقدم الآلة. أما أمهات الحروف فتعود إلى المخزن مرة أخرى حيث تتخذ كل واحدة منها مكانها، وبالتالي لا تفرغ المخازن.

في عام ١٨٨٧ صمم المخترع الأمريكي تولبرت لانستون Lanston آلته المونوتيب Monotype والتي صنعت تجاريًا في نهاية القرن التاسع عشر. تتكون صفافة الحروف المونوتيب من آلتين منفصلتين، الأولى عبارة عن آلة تخريم ذات لوامس. إذا ضرب العامل عليها أحدثت في شريط من الورق خرومًا بأشكال معينة تقابل الحروف المختلفة، والآلة الثانية عبارة عن آلة سبك تحول الخروم المرتسمة على شريط الورق إلى حروف مسبوكة، وتعتمد في ذلك على هواء مضغوط يندفع خلال الخروم فيهيئ أمهات الحروف المطلوبة للسبك.

دخلت بعد الحرب العالمية الثانية تطورات جوهرية على تكنولوجيا الطباعة، فاخترعت الصفافة البعيدية التي يمكن بواسطتها إنجاز الصف الآلي بالإبراق السلكي أو اللاسلكي. ومن الطرق الحديثة أيضًا طريقة الصف التصويري، وتعتمد هذه الطريقة على أسلوب الشريط المخرم الذي يتكون عندما يضرب العامل النص على لوامس الآلة، ثم يدخل الشريط في آلة تصويرية يتحول فيها إلى كتابة تطبع على فيلم أو على ورق وتكون ما يسمى بالمادة الخام، دخلت الحاسبات الإليكترونية مجال الطباعة حديثًا، ومكنت من زيادة سرعة صف الجرائد والكتب وإخراجها بكميات كبيرة.

صناعة الزجاج

الزجاج Glass هو مادة صلدة، سريعة الكسر، غير متبلورة Non-crystalline، تكون في العادة شفافة وصافية. تتشكل ذرات المواد في الحالة الزجاجية أو ما شبيه ذلك، في عشوائية، بخلاف خواص المواد البلورية التي تتشكل فيها الذرات بصورة منتظمة. لقد عرف الإنسان الزجاج منذ أكثر من ستة آلاف عامًا، منذ الحضارات الأولى في مصر الفرعونية، ولكن اقتصر استخدامه على صنع النوافذ، وأواني الشرب، والمرايا. بدأ إنسان الحضارة الحديثة في القرن التاسع عشر التعرف على فوائد الزجاج، وأصبح لهذه الصناعة أكثر من خمسين ألف منتج، وتشعبت الاستخدامات لتشمل جميع مجالات الحياة مثل النوافذ، والنظارات، والميكروسكوبات، والتلسكوبات، والكاميرات، واللمبات الكهربية، والمرايا، والتليفزيون، وغيرها.

تمثلت البداية في صناعة الخزف Faience في الحضارة الفرعونية منذ الألفية الرابعة قبل الميلاد. كان المصريون يصنعون الخزف من عجينة مركبة من مسحوق الكوارتز أو رمل نقي -السيلكا Silica-، وأكسيد النحاس، والماء، ثم تضغط العجينة في قالب تشكيل لتجف، ثم تتعرض لمصدر حراري لتأخذ الصورة الصلدة، المغطاة بطبقة زجاجية رقيقة ناتجة من تفاعل كربونات الصوديوم Soda مع ثاني أكسيد السيليكون -السيليكا- خلال عملية الحرق. يمكن أن تأخذ هذه الطبقة اللون الأزرق أو الأزرق المخضر نتيجة لارتحال النحاس إلى السطح الخارجي. كان المصريون يضيفون بعض

الأكاسيد المعدنية Metallic Oxides للخزف، ثم يقومون بإحراقه مرة ثانية للحصول على طبقة مصقولة ولامعة من الزجاج تغطي سطح المادة الخزفية.

عرف إنسان الحضارات الأولى في مصر الفرعونية وحضارات بين النهرين (دجلة والفرات) الأواني الزجاجية حول منتصف الألفية الثانية قبل الميلاد، فقد وجد في مقبرة تحتمس الأول كسر زجاج من أوانٍ زجاجية باللون الأزرق الغامق، مزخرفة بخيوط زجاجية متعرجة، باللون الأصفر. وجد أيضًا إبريق زجاجي في مقبرة تحتمس الثالث من القرن الخامس عشر قبل الميلاد، شكلت بتقنية مختلفة. عرفت أيضًا -في زمن لاحق- الشعوب التي عاشت حول بحر إيجا، وجزيرة قبرص صناعة الزجاج ليشكلوا منها أشكالاً مختلفة للزينة وللاستخدامات المنزلية. تدهورت صناعة الزجاج تدريجيًّا في مصر الفرعونية، بينما استمر تطورها في بلاد بين النهرين، خاصة في زمن الحضارة الأشورية في القرن الثامن قبل الميلاد، وانتشرت هذه الصناعة في البلاد المجاورة مثل سوريا وبلاد فارس. ازدهرت صناعة الزجاج في الحضارة الإسلامية خاصة بعد توسع حدودها؛ لتحوي بلادًا عديدة في الشرق والغرب. عرفت أيضًا حضارات الشرق الأدنى في الهند والصين واليابان تقنية صناعة الزجاج منذ الألفية الأولى قبل الميلاد. أما بالنسبة لأوروبا، فقد وجدت حفريات تحتوي على أوانٍ زجاجية من القرن الثاني الميلادي في سواحل شمال البحر الأدرياتيكي. ازدهرت صناعة الزجاج في مدينة فينسيا بإيطاليا في القرن الثالث عشر الميلادي، ثم انتقلت إلى جزيرة مورانوا وما حولها خوفًا من الحرائق التي قد تندلع من أفران صناعة الزجاج.

نظرًا لأن خامات الزجاج رخيصة ومتوافرة في أماكن كثيرة، فقد ساعد ذلك على انتشار هذه الصناعة، وكذلك على تعدد منتجاتها. تتلخص المواد الخام المستعملة في صناعة الزجاج في الآتي:

١- ثاني أكسيد السيلكون أي الرمل Silicon Dioxide ، وأفضلها الرمل الأبيض، لأن الأنواع الأخرى تكون مختلطة ببعض الشوائب مثل أكسيد الحديد. ويجب أن

تكون حبيبات الرمل متقاربة في الحجم ودقيقة لسهولة عمليات الصهر. يلزم في كثير من الأحيان تنقية الرمل عن طريق الغسيل بالماء أو بالطرق الكيميائية لإزالة الأتربة والشوائب. ويستعمل أيضًا كسر الزجاج ؛ لأنه يساعد على صهر خلطة الزجاج.

٢- كربونات الصوديوم Sodium Carbonate، وتعتبر أهم مصدر لأكسيد الصوديوم. تعتبر كبريتات الصوديوم المصدر الثاني لأكسيد الصوديوم، ولكنها تحتاج إلى كربون لتختزل الكبريتات إلى كبريتيت الصوديوم قبل اتحادها مع ثاني أكسيد السيليكون.

٣- كربونات الكالسيوم Calcium Carbonate، أو الحجر الجيري، وهو مصدر أكسيد الكالسيوم. وفي بعض الأحيان يستعمل الدولوميت Dolomite وهو خليط من كربونات الكالسيوم والماغنسيوم. يستعمل الحجر الجيري في صناعة الزجاج العادي، أما الدولوميت فيستعمل في إنتاج الزجاج المسطح لما للمغنسيوم من خواص تكسب الزجاج صلابة ومقاومة للحرارة.

٤- مواد أخرى، وذلك لإكساب الزجاج خواص معينة، فالألومينا Alumina أي أكسيد الألمونيوم تقلل من احتمال تشقق الزجاج وتبلوره بعد خروجه من أفران الصهر أثناء عملية التشكيل، والبوراكس يستخدم في إنتاج الأجهزة العلمية لتقليل من معامل التمدد الحراري للزجاج. أما بالنسبة للرصاص فهو يعطي للزجاج بعض الخواص مثل زيادة المعامل الانكسار الضوئي. تساعد كبريتات الصوديوم على سهولة تشكيل الزجاج وإزالة الفقاقيع وخاصة في عملية التشكيل بالنفخ. يحتاج الزجاج أيضًا إلى بعض المواد الكيماوية الأخرى لتلوينه مثل أكسيد الكروم وأكسيد النحاس وأكسيد الحديد لإكسابه اللون الأخضر، وأكسيد الكوبالت للون الأزرق، وثاني أكسيد المنجنيز للون البنفسجي، والسيلينيوم والذهب للون الأحمر، وأكسيد الزنك وفوسفات الكالسيوم وفلوريد الكالسيوم وأكسيد القصدير للون الأبيض.

صناعة البلاستيك

البلاستيك Plastic أو اللدائن يطلق على المادة الراتنجية العضوية ذات الوزن الجزيئي الكبير، أو مخلوط معقد من عدة مواد أساسية راتنجية يحضر بطريقة البلمرة Polymerization أي التجمع. اشتقت كلمة بوليمر Polymers من كلمتين في اللغة اليونانية القديمة الأولى بولي بمعنى متعدد أو كثير، وكلمة ميروس معناها جزيء. تتشكل البلمرة من خلال سلسلة طويلة من الوحدات المتكررة ذات الوزن الجزيئي الصغير، وتسمى الوحدة مونومر Monomer أي مركب كيميائي مستقل، فيه الجزيئات غير متبلمرة. تتشابك هذه الوحدات مع ذرات الكربون، ثم ينضم إليها جزء ثانٍ في وجود عامل مساعد؛ ليكون جزيئًا مزدوجًا يسمى دايمر Dimer، أي مركب مزدوج الصيغة الجزيئية. ثم يتحد هذا المكون مع جزء ثالث يسمى ترايمر Trimer، أي ثلاثي الصيغة الجزيئية، ثم رباعي، وهكذا حتى يصبح جزيئًا كبيرًا يسمى بوليمر.

توجد البوليمرات طبيعيًا في الجوتابرشا Gutta- Percha وهي مادة صمغية، وفي مادة الراتينج القلفونية Rosin وهي مادة صفراء صلبة تتخلف عند تبخير التربنتينا من راتينج الصنوبر، وفي محلول اللك Shellac كانت هذه المواد تستخدم مثل اللدائن من قرون عديدة، قبل التوصل إلى تقنية صناعة البلاستيك. يرجع تطوير صناعة البلاستك على المستوى التجاري إلى المخترع الأمريكي جون هايات Hyatt في عام

١٨٦٨. قام هايات بمزج نترات السليولوز Cellulose Nitrate مع الكافور Camphor لإنتاج مادة تستعمل في تشكيل كرات البلياردو، والأطواق، والمشط، ومواد أخرى. استخدم نفس البلاستيك المصنوع من نترات السليولوز- والذي سمي سليولويد Celluloid- في صناعة مادة الأفلام الفوتوغرافية، بواسطة شركة كوداك في عام ١٨٨٤.

توجد أنواع كثيرة من البلاستيك، ولكن يوجد قسمين رئيسيين من حيث تأثرهما بالحرارة:

أولاً: الثرموبلاستيك Thermoplastic

وهو يلين بالحرارة ويتصلد بالتبريد، فإن الحرارة المستخدمة في تسخينه لا تكفي لتغيره كيميائيًا. عند تسخين هذا النوع من البلاستيك مرة ثانية فإنه يلين ويمكن تشكيله مرات كثيرة حسب الغرض من استعماله. يدخل تحت هذا القسم: البولي إيثلين، والبولي ستيرين، والبولي كلوريد الفينيل، والبولي خلات الفينيل.

ثانيًا: الثرموسيتنج Thermosetting

وهو يشكل ويستقر بالحرارة، ويتصلد مع الثبات بالتبريد، ولا يلين بعد ذلك. يحتوي هذا القسم على الأنواع التي تتصلب تحت تأثير الضغط والحرارة، ولا يتأثر بعد ذلك بالحرارة أي لا ينصهر وإنما يحترق. في هذا القسم يجب ألا تتعدى درجة حرارة الراتنج درجة الانصهار والانسياب، وبذلك يصبح مستقرًا. هذا النوع لا يصلح تشكيله مرة ثانية بواسطة التسخين الحراري، حيث يحدث تفاعل كيميائي يربط الجزيئات في ثلاثة أبعاد، فيفقد التركيب المميز له. تتميز أنواع البلاستيك من هذا القسم بالصلادة والتماسك. يدخل تحت هذا القسم: الفينول فورمالدهيد Phenol-Formaldehyde، واليوريا فورمالدهيد، والميلاين فورمالدهيد.

طلي المعادن

يعتبر طلي المعادن Coating of Metals من التقنيات القديمة التي ظهرت في الحضارات الأولى، من خلال تغطية بعض المعادن بمعادن أخرى، وخصوصًا بالذهب والفضة. كانت هذه العملية تسمى ترصيعًا، وكانت تتم بتسخين سطوح البرونز أو النحاس أو الحديد إلى درجة حرارة مناسبة، ثم تطرق المعادن النفيسة على السطوح الساخنة. انتشرت تقنية الترصيع مع الحضارة العربية خاصة في بلاد الشام. عرف الرومان طريقة الطلي بالتغطيس، فكانوا يطلون الأواني النحاسية بالقصدير، وذلك بغمسها في مصهور هذا المعدن. في بدايات الحضارة الأوروبية الحديثة، ظهر الطلي بالغمس في الزنك المنصهر، وطلي الصفائح الحديدية بالقصدير. بعد اكتشاف البطارية الكهربية، أصبح في الإمكان ترسيب بعض المعادن مثل الفضة والذهب والبلاتين، ومعادن أخرى شائعة مثل النحاس والنيكل والقصدير والرصاص، على المعدن الأساسي لتكوين طبقة متماسكة جيدة الالتصاق عليه. صنع ادوارد ويستون Weston في عام ١٨٧٥ أول مولد للطلي الكهربائي مما أدى إلى ترسيخ قواعد صناعة الطلي الكهربائي. باكتشاف التلبيس بالكروم في عام ١٩٢٥ أصبحت عمليات التلبيس Cladding بالكروم/نيكل واسعة الانتشار لأغراض الزينة ووقاية المعادن من عوامل الطبيعة. تطورت تكنولوجيا طلي المعادن في الوقت الحاضر. وتعددت الطرق التي تستخدم في الطلي، ولكنها تتركز في خمس طرق رئيسية:

١- **التغطيس الساخن** Hot-Dipping

وهي أقدم الطرق وأكثرها انتشارًا في تلبيس معدن بطبقة من معدن آخر. تتشكل هذه الطريقة بغمس القطعة المراد تلبيسها بكاملها في حوض معدن منصهر لفترة قصيرة. وللحصول على عملية تلبيس ناجحة، يجب أن يكون المعدنان المستخدمان قابلين للامتزاج مع بعضهما ولو إلى حد ما. تتم عملية التلبيس نتيجة لفعل المزج المتبادل بين المعدنين Alloying Action، وعلى ذلك تكون طبقة التلبيس مشوبة دائمًا بشيء من معدن الأساس.

٢- **السمنتة** Cementation

تتمثل هذه الطريقة في تسخين المعدن الأساسي وهو محاط بمعدن آخر غالبًا ما يكون على شكل بودرة إلى درجة حرارة أقل بقليل من درجة انصهار المعدن الذي قد ينصهر أولاً. عرفت هذه الطريقة في العصور القديمة، بتحويل النحاس إلى براس Brass وهو النحاس الأصفر وذلك بتسخينه مع أنواع معينة من التراب. أيضًا صنع الفولاذ بتسخين الحديد مع الفحم النباتي عند درجات حرارة عالية.

٣- **الطلي بترسيب الأبخرة المعدنية**

تصنف الطلاءات المنتجة بترسيب أبخرة المعادن في ثلاث مجموعات حسب مصدر البخار، إذ يمكن للبخار أن يكون مصدرًا من تبخير المعادن المنصهرة، أو من الرش المهبطي Cathode Sputtering، وكلاهما عملية فيزيائية، أو من الإرجاع الهيدروجيني أو التفكك الحراري لهاليدات المعادن أو المركبات العضوية المعدنية وهي عمليات كيميائية. في كل العمليات السابقة يستلزم الوصول إلى درجات حرارة من متوسطة إلى عالية، وفي معظمها يستلزم أيضًا وجود أجهزة خلخلة.

٤- **الطلي بالبخ**

تتلخص عملية البخ بالمعادن ببخ رذاذ من معدن مصهور خلال فتحة صغيرة بسرعة كبيرة؛ لترتطم بسطح المعدن المراد طليه. معظم المعادن الشائعة يمكن بخها

ولكـن أكثرهـا اسـتعمالاً هـو الزنـك، والقـصدير، والألمونيـوم، والنحـاس، والرصاص، والحديد. انتشر الطلي بالبخ لحماية المعادن ضد التآكل والأكسدة عند درجات حرارة عالية، خاصة بعد اكتشاف البخ بالبلازما، إذ يمكن من خلالها الحصول على مصدر حراري غير مؤكسد، لبخ بودرات المواد الحرارية التي يمكن صهرها دون أن تتفكك.

٥ـ الطلي بالكهرباء

تتلخص عملية الطلي بالكهرباء في ترسيب طبقة معدنية على الإليكترود بغرض الحصول على سطح معدني ذي خواص تختلف عن خواص معدن الأساس. تكون الطلاءات الكهربائية أكثر تجانسًا في السمك من طلاءات التغطيس الساخن، وأقل مسامية من طلاءات البخ، وأكثر نقاءً من كليهما. قد تكون الطلاءات أنودية أو كاثودية (مصعدية أو مهبطية) بالنسبة للجسم المطلي.

قياس الوقت والساعة

أولاً يجب التفريق بين تعريف آلة قياس الوقت Clock، والساعة Watch إذا كانت آلة قياس الوقت تدل على الوقت أو تسجله، فإن الساعة هي جهاز صغير يمكن حمله لبيان التوقيت، في أي مكان، وعند أي درجات حرارة، وفي أي ظروف مناخية. إذا كان الزمن هو دالة متصلة Continuous Function فإنه يقسم كوكب الأرض إلى فترات، فالسنة – وهي زمن دوران الأرض حول الشمس – مقسمة إلى اثني عشر شهرًا، والشهر مقسم إلى عدد من الأيام تتراوح ما بين ٢٨ إلى ٣١ يومًا، واليوم مقسم إلى ٢٤ ساعة، والساعة مقسمة إلى ٦٠ دقيقة والدقيقة مقسمة إلى ٦٠ ثانية. تحوي جميع أجهزة قياس الوقت – متضمنةً الساعات – وسائل تقوم بأداء حركات منتظمة في مراحل متساوية، وذلك لإظهار الوقت أو تسجيله أو الاثنين معًا.

قام قدماء المصريين بصنع أول آلتين لقياس الوقت وهما:

- الساعات الشمسية أو المزولة Sundial
- الساعة المائية Water Clock / Clepsydra

وجد علماء الآثار أجزاء من مزولة فرعونية منذ القرن السادس عشر قبل الميلاد محفوظة في متحف برلين كما تحتفظ المتاحف المصرية بأشكال من الساعات المائية مصنوعة من المرمر Alabaster ترجع إلى القرن الرابع عشر قبل الميلاد. صممت المزولة

بحيث يقسم الوقت من الشروق حتى الغروب إلى اثني عشر قسمًا متساويًا، ويبين ظل مؤشر معين الوقت خلال فترة النهار. أما الساعة المائية فقد كانت تبين الوقت أثناء فترة الليل، وهي تتكون من آنية من المرمر (شكل السلطانية) لها جوانب مائلة، أي أن القطر العلوي لها أكبر من القطر السفلي. وبها فتحة صغيرة في القاع، تخرج منها أنبوبة صغيرة على شكل النتوء. تعمل الساعة المائية من خلال تدفق المياه الموجودة في الآنية من الفتحة الصغيرة الموجودة بالقاع، فينخفض مستوى المياه في الآنية، ويبين التقسيم المنحوت على السطح الداخلي للآنية الوقت أثناء فترة الليل. يحتوي التقسيم على اثني عشر قسمًا غير متساوية نظرًا لميل سطح الآنية.

انتقلت فكرة المزولة والساعة المائية إلى الحضارة الإغريقية، ثم بعد ذلك إلى الحضارة الرومانية. حور الإغريق المزولة التي صنعت من الحجارة فأصبحت تأخذ شكل النصف دائرة Hemicycle. كانت المزولة المفرغة بالشكل النصف دائري، توضع في مواجهة الشمس بحيث تبين الخطوط المنحوتة في داخل المزولة الوقت أثناء فترة النهار من خلال ظل العقرب Gnomon الأفقي المتدلي من أعلى المزولة على هذه الخطوط.

صنعت مجموعات مختلفة من الساعات المائية في الصين في الفترة ما بين القرن الثامن والقرن الحادي عشر الميلادي. كانت هذه الساعات كبيرة الحجم، كما احتوت على أرقام متحركة. كانت الساعات الصينية تقوم -من خلال تدفق المياه- بتحريك أشكال معدنية أو خشبية تأخذ شكل القبة السماوية Celestial أو الكرة الأرضية، وتصدر أصواتًا تنبيهية كل فترات محددة بواسطة جرس معلق بها.

ظهرت الساعة الرملية Sandglass في أوروبا في القرن الرابع عشر الميلادي، والتي كانت تتكون من كرتين من الزجاج تأخذان الشكل البصلي، ومتصلتين بواسطة عنق ضيق. كانت كمية من الرمل توضع في الكرة العلوية، ويقاس الوقت عند سقوط كل كمية الرمل إلى الكرة السفلى من خلال العنق الضيق الواصل بين

الكرتين، ثم تقلب الكرة ليبدأ سقوط الرمل إلى الكرة الأخرى. عرف الإنسان أيضًا الوقت من خلال ترقيم الشمعة، "لمبة الجاز"، فكان زمن انصهار الشمع أو هبوط "الجاز" في اللمبة يدل على الوقت. صنعت في أوروبا في القرن الرابع عشر الميلادي أول ساعة ميكانيكية Weight-Driven Clock تعمل بواسطة تأثير ثقل معين يحرك عجلة داخل إطار حديدي.

استعمل الزنبرك لأول مرة كقوة محركة في الساعات -بدلاً من الثقل- في أوروبا في النصف الثاني من القرن الخامس عشر. كانت من مساوئ الساعات الزنبركية Spring Driven في مراحلها الأولى، أن القوى الزنبركية المحركة لم تكن متساوية أو ثابتة، فقد كان عزم الدوران Torque أكبر عندما يكون الزنبرك ملفوفًا بإحكام، وأقل عندما يكون غير محكم. حدث تطور في تصنيع الساعات للتغلب على هذه المشكلة، بوضع الزنبرك داخل أسطوانة، مع نقل قوة الزنبرك المحركة خلال خيط رفيع أو شريط أو سلسلة تلف في الأسطوانة، وتلف النهاية الأخرى للسلسلة حول أخدود حلزوني Spiral Groove على بكرة، والتي تقوم بتمرير الحركة الميكانيكية للساعة بواسطة التروس. تطورت صناعة أجهزة قياس الوقت وتطورت، وصنع الإنسان الحديث ساعة اليد التي تبين الوقت من خلال حركة العقارب، ثم تم اختراع الساعات الرقمية Digital في النصف الثاني من القرن العشرين.

نشر الفرنسي تيفيني دي لاروش La Roche في عام ١٧٦٠ كتابًا وصف فيه تأثير الضوء على مسطح تم طلاؤه بنترات الفضة، ونوه فيه عن الصور الصناعية التي يمكن إحداثها بهذه الطريقة. ثم قام العالم الكيميائي السويدي كارل شيله Scheele بدراسة تأثير الضوء على تلوين أملاح الفضة. وفي عام ١٨٠٢ نشر توماس ويدجوود Wedgwood تجاربه في نقل صور ظلية على ورق شبعه بنترات الفضة Silver Nitrate ولكنه لم يستطع تثبيت هذه الصور بحيث لا تنمحي بعد ذلك.

كان السبق لاستخدام مصطلح فوتوغرافيا photography، هو الفرنسي نيسيفور نيبس Niepce في عام ١٨١١ بعد إجرائه تجارب في هذا المجال مستخدمًا مواد كيميائية حساسة للضوء. لاحظ نيبس أن مادة الأسفلت إذا تعرضت للشمس فترات طويلة يمكن إزابتها بالزيوت النباتية، وعليه استخدم لوحات أسفلتية في ما يسمى "الصندوق المعتم Camera Obscura"، حتى إذا ارتسمت عليها الصور عالجها بمواد كاوية، ثم استنساخها بالكبس. كانت هذه العملية طويلة ومعقدة ولم تكن تحفظ من الصور إلا خطوطها الرئيسية فقط.

كان ليورناردو دافينشي قد وصف في مذكراته "الصندوق المعتم" -والذي كان في أغلب الظن معروفًا من قبل- والتي تتلخص فكرته في أن الضوء إذا ما سقط من

خلال فتحة ضيقة إلى غرفة معتمة أو صندوق معتم فإنه يرسم على الجدار المقابل صورة مقلوبة مصغرة للمنظر الخارجي. تطور الصندوق المعتم في القرن السادس عشر على يد الألماني تسان Zahn الذي ركب على فتحتها عدسة لامة فاستقامت الصورة ووضحت معالمها. قام العالم الفيزيائي الإيطالي ديللا بورتا Della Porta في عام ١٥٦٩ بصناعة أول صندوق معتم كبير جعل فتحته وعليها العدسة إلى أعلى في وضع أفقي، ثم ركب عليها بزاوية تميل على الخط الأفقي ٤٥ درجة، مرآة تستقبل الصور من المنطقة المحيطة وتسقطها على منضدة دائرية كبيرة موضوعة في مستوى أسفل الصندوق.

في عام ١٨٣١ التقى نيبس بالمصور الفرنسي لوي جاك داجير Daguerre الذي كان يعمل بالتصوير والزخرفة، واتفقا على العمل معًا في تطوير هذه التقنية. اكتشف داجير أن يوديد الفضة أصلح للتصوير من نترات الفضة. في نفس الوقت كان نيبس قد أدخل تحسينات على الصندوق المعتم، فأصبح يتكون من صندوق خلفيته عبارة عن لوحة حساسة للضوء، وله عدسة مثبتة في أنبوبة متداخلة بحيث تطول وتقصر حتى تتخذ البؤرة أدق أوضاعها. بعد وفاة نيبس، وفي عام ١٨٣٧ لعبت المصادفة دورًا في استكمال عملية التصوير الضوئي، فقد ترك داجير بعض اللوحات في دولاب قديم ظنًّا منه أنها لم تتعرض للضوء بقدر كاف، ثم عاد بعد عدة أسابيع وأخرجها ليغسلها ويستخدمها من جديد، فوجد أن الصورة قد ازدادت وضوحًا. اكتشف داجير في قاع الدولاب وجود زئبق، بعد أن انكسرت زجاجته سقط منها. توصل داجير إلى أن بخار الزئبق قد أثر كيميائيًّا على لوحات يوديد الفضة فثبت الصورة. قام داجير بإجراء بعض التجارب عرض فيها لوحة لضوء الشمس زمنًا قصيرًا ثم عرضها في غرفة مظلمة تحتوي على بخار زئبق يتصاعد من إناء به زئبق ساخن، فظهرت الصورة على اللوحة بوضوح، ثم تناول اللوحة وغطسها في محلول كبريتات الصوديوم، وبذلك اكتملت عملية التصوير الفوتوغرافي.

في عام ١٨٣٩، وفي نفس العام الذي نجح فيه اختراع داجير، ظهرت تقنية

أخرى في التصوير الفوتوغرافي على يد الإنجليزي ويليام تلبوت Talbot. كانت لوحة داجير تحمل صورة إيجابية لا سبيل إلى طبع نسخ منها ولا إلى تكبيرها، أما تلبوت فكان يصنع الصورة السالبة على الورق بحيث تكون الأجزاء الفاتحة غامقة والأجزاء الغامقة فاتحة. كان تلبوت يقوم بعد ذلك بطبع الصورة السالبة على ورقة أخرى حساسة للضوء بتسليط الشمس على الصورة السالبة الموضوعة فوقها، مستعينًا بمحلول هيبوكبريتات الصوديوم في التثبيت.

في عام ١٨٧١ اخترع اثنان من الإنجليز وهما مادوكس Maddox، وسوان Swan، لوحًا جافًا حساسًا عليه طبقة من بروميد الفضة تثبتها مادة جلاتينية غليظة القوام. كان هذا الاختراع خطوة حاسمة للتغلب على العقبة الأساسية التي وقفت في طريق تطوير التصوير الفوتوغرافي. تمثلت ميزة الألواح الجافة في تخليص المصورين الذين يريدون التقاط صور في الخلاء من الغرفة المظلمة المتنقلة التي كان ينبغي عليهم حملها معهم ليعدوا لكل لقطة لوحة خاصة بها.

بعد أن قام عالم كيميائي إنجليزي بتصنيع مادة السيللولويد Celluloid في عام ١٨٥٦، استخدم الأمريكي جورج إيستمان Eastman عام ١٨٨٤ هذه المادة بعد طلائها بطبقة حساسة للضوء، بدلا من اللوح الزجاجي الذي كان يستخدم من قبل. تمكن إيستمان وبمساعدة هانيبال جودوين Goodwin بعد ذلك من ابتكار الفيلم الملفوف الذي يمكن تركيبه في آلة التصوير دون الحاجة إلى الغرفة المظلمة، ليتحول التصوير الضوئي بعد ذلك إلى أمر أكثر بساطة وسهولة. طور إيستمان في جهاز التصوير ليصبح أخف وزنًا، وأصبحت العدسة والفيلم أكثر حساسية، وبذلك أصبحت الصورة أكثر وضوحًا.

تطورت صناعة الكاميرات أخيرًا باختراع الكاميرا الديجتال Digital التي يمكن أن تحفظ الصور رقميًا ونقلها إلى الحاسب الآلي لعرضها وطبعها.

صناعة السينما

ظهرت صناعة السينما نتيجة التطور في عدة مجالات متفرقة، يعتبر الفانوس السحري الذي اخترعه الألماني اتاناسيوس كيرشر Kircher في القرن السابع عشر، واحدًا من هذه العناصر، أما العنصر الثاني الذي دخل في اختراع السينما فهو التصوير الفوتوغرافي، الذي مكن الفانوس السحري في إسقاط مناظر مصورة مطابقة للطبيعة على حائط أو شاشة. أصبح المطلوب للوصول إلى صناعة السينما هو تحريك الصور، وبث الحياة فيها.

في عام ١٨٢٩ قام جوزيف بلاتو Plateau وهو أستاذ جامعي بلجيكي بدراسة طريقة عمل العين البشرية، فكان يحدق في ضوء الشمس ليتبين تأثيره على شبكية العين، واستمر في هذا العمل حتى فقد الإبصار بعد حوالي أربعة عشر عامًا. توصل بلاتو إلى نظرية «كسل العين»، فالعين تتسم بنوع من الكسل في التخلص من الصورة التي تلتقطها، فالصورة التي تنطبع في الشبكية تظل بها فترة تقدر بجزء من الثانية بعد أن تكون المرئيات قد تلاشت، إن الإنسان لا يرى الصور المتعاقبة منفصلة الواحدة عن الأخرى، بل يراها بعد أن تكون قد تكومت الواحدة فوق الأخرى في المخ، فإذا كانت الصور تمثل مراحل متعاقبة لحركة معينة، فالعين تحس بالحركة المتجانسة. صنع الفلكي سيرجون هيرشل Herschel لعبة أطفال مبنية على اكتشاف بلاتو، فكانت اللعبة عبارة عن قرص من الورق المقوى على وجه منه صورة طائر وعلى الوجه

الآخر عش، فإذا أدار القرص بسرعة، يمكن رؤية الطائر داخل العش. كان النمساوي فرانتس اوخاتيوس Uchatius هو أول من أسقط على الحائط رسومات متحركة مستعينًا بالفانوس السحري الذي جعله يبث صورًا متعاقبة بسرعة أحدثت انطباعًا بحركة طبيعية، وكان ذلك في عام ١٨٥٢.

اخترع إديسون عام ١٨٨٩ جهازًا سمى «كينيو سكوب» وهو عبارة عن صندوق يجلس إليه شخص واحد وينظر من فتحة خاصة فيرى مشهدًا متحركًا، فكر إديسون في أن يستخدم الفيلم الملفوف الذي ابتكره ايستمان وجودوين، فأخذ شريطًا منه طوله ١٥ متراً، ووضع آلة تصوير ليصور بها المشاهد بحركتها الطبيعية بدلاً من طريقة التصوير على مراحل متعاقبة. في عام ١٨٩٤ وضع الإنجليزي روبرت بول Paul تصميمًا لآلة عرض، وتصميمًا آخر لآلة تصوير، ثم أنشأ معملاً بسيطًا في لندن، وبدأ يصنع أفلامه الخاصة به، وتم عرض فيلمًا من أفلامه على جمهور من سكان لندن في فبراير ١٨٩٦. في مطلع تسعينات القرن التاسع عشر عرض فرنسيس جينكس Jenkins صورًا متحركة مستعينًا بآلة عرض صنعها بنفسه، وفي نفس الوقت نجح اثنان من الألمان وهما الأخوان ماكس واميل سكلادانوفسكي في إقامة عروض مشابهة استخدما فيها آلات تم صناعتها على أساس آلة الصور المتحركة التي اخترعها إديسون.

كان الأخوان لوي، وأوجوست لوميير Lumiere يمتلكان مصنعًا لأدوات التصوير في مدينة ليون الفرنسية، وقاما بتصميم وتنفيذ آلة تصوير وآلة عرض، ثم قاما بالتقاط فيلم تجريبي قصير لم يستمر إلا لثوان معدودة. في مارس ١٨٩٥ عرض الأخوان لوميير هذا المشهد الحي القصير على مجموعة من رجال الأعمال الذين أبدوا الاهتمام بالعرض، ثم قاما بصناعة عدد من الأفلام القصيرة، وافتتحا في ٢٨ ديسمبر من عام ١٨٩٥ أول دور للسينما في العالم، عرضا فيه فيلم استمر عشرين دقيقة يتضمن مشاهد مختلفة.

كانت المرحلة التالية في تطوير صناعة السينما هي مرحلة الفيلم الناطق. تمكن

العالم الفيزيائي الألماني ارنست رومر Ruhmer في مطلع القرن العشرين من تسجيل الموجات الصوتية تسجيلاً فوتوغرافيًا، ولكنه لم يطبق اكتشافه على الفيلم السينمائي. وفي عام ١٩٠٢ توصل المخترع الإنجليزي ديوديل Duddell إلى أن الصوت يتحول خلال الميكروفون إلى موجات صوتية كهربية يسجلها جهاز راسم الذبذبات «الاوسيلوجراف» Oscillograph على شريط سيار تظهر عليه الرسوم صاعدة وهابطة حسب حركة الجهاز المتذبذب، وهي رسوم يمكن استنساخها بالتصوير الفوتوغرافي، ويستعاد الصوت عن طريق استخدام شعاع ضوئي يتخلل الشريط السيار الذي عليه التسجيل ويقع على خلية من السيلينيوم وهي خلية كهربية ضوئية، تحول الذبذبات التيارية على صوت مسموع. اخترع الإنجليزي يوجين لوست Lauste في عام ١٩٠٦ طريقة لتسجيل الصوت والصورة على الفيلم في وقت واحد، مستخدمًا نصف الفيلم للصورة والنصف الآخر للصوت، ولكن ظلت استعادة الصوت المسجل مشكلة لم يجد لها حلاً. بعد الحرب العالمية الأولى، توصل ثلاثة مخترعين شبان وهم انجل، وماسوله، وفوجت إلى طريقة فنية لصناعة الفيلم الناطق، واستخدمت هذه الطريقة في عام ١٩٢٢ ولكن صدر الصوت رديئًا . في العام التالي عرض لي دفوريست، مخترع الصمام التضخيمي Amplifier طريقة جديدة في صناعة الفيلم الناطق، وتم تطوير هذه الطريقة حتى أنتج أول فيلم ناطق في عام ١٩٢٨.

المصعد

المصعد Elevator/ Lift هو نظام ميكانيكي / كهربي يحوي صندوقًا / مركبة، تستعمل للصعود والهبوط، حاملة ركاب أو بضائع. قديمًا، استطاع الإنسان التعرف على أنواع عديدة من قوى الرفع، مستخدمًا عضلاته، أو الحيوانات الأليفة، أو قوى ضغط المياه، لرفع وإنزال الأحمال. بعد أن اكتشف الإنسان البخار كقوة محركة، استخدمت المحركات البخارية في رفع وإنزال البضائع فقط خوفًا من انقطاع أو انفصال الحبال التي كانت تمسك بالمركبة الحاملة. تم تصنيع أول مصعد على المستوى التجاري في عام ١٨٥٠، وكان بدائيًا في تصميمه وتصنيعه، وقد استخدم للرفع بين طابقين فقط. ظهر أول جهاز آمن للرفع في عام ١٨٥٢ بواسطة الأمريكي اليشا أوتس Otis، والذي صنع مركبته على شكل هيكل السرير، وذلك لاستخدامه في المصانع. ربط أوتس حبال الرفع بزنبرك Spring معلق بأعلى عربة المصعد.

صنع أوتس أول مصعد للركاب في عام ١٨٥٧، وقام بتركيبه في مبنى تجاري بمدينة نيويورك، مستخدمًا الآلة البخارية، وأسطوانة الملف Winding Drum، التي تدور بواسطة سيور Belts متصلة بالآلة المحركة. وفي عام ١٨٥٩ قام أوتس بتصنيع أول مصعد يعمل بنظام المحرك البخاري الانعكاسي Reversible Steam Engine، والمتصل بأسطوانة اللف بواسطة السيور ونظام التروس Gears. تم تركيب أول مصعد هيدروليكي Hydraulic Elevator في عام ١٨٥٩، وكانت المركبة فيه متصلة بنهاية

كباس غاطس Plunger مثبت في أسطوانة غاطسة في الأرض. كان الكباس والمركبة يتحركان لأعلى عندما يتم ضخ الماء -تحت ضغط- داخل الأسطوانة، وعند خروج الماء من الأسطوانة تبدأ عربة المصعد في النزول. في تصميم آخر للمصعد الهيدروليكي، كان الكباس والأسطوانة يشد الحبال لرفع أو إنزال عربة المصعد. تم تركيب أول مصعد كهربائي في عام ١٨٨٩، ثم إدخال نظام التحكم الآلي في المصاعد في نهاية القرن التاسع عشر، أما المصاعد الحديثة الخالية من التروس، والتي تعمل بنظام السحب / الجر Traction الكهربي، فقد تم تصنيعها في عام ١٩٠٣. في النصف الأول من القرن العشرين حدث تطوير ملموس في أجهزة التحكم، وبدأ تركيب المصاعد في المباني العالية الارتفاع.

تتم عملية الرفع والإنزال في المصاعد الحديثة بواسطة محرك كهربي Electric Motor، والذي يدور عجلة بها أخاديد Grooved Wheel، أو يحرك بكرة محزوزة Sheave موجودة بأعلى طريق رفع المصعد. تتصل بكرة الحركة المحزوزة بعمود إدارة حركة Drive Shaft المحرك الكهربي. توجد أيضًا أسلاك قوية من الصلب Steel Cables مثبتة في أعلى عربة المصعد وعلى طول مساره، من فوق البكرة المحزوزة الموجودة في الغرفة العلوية للمصعد، وحتى الثقل الموازن Counter Weight في الغرفة السفلية للمصعد. يقوم الثقل الموازن بعمل توازن لأحمال عربة المصعد بالإضافة إلى حوالي ٤٠٪ من هذه الأحمال بحيث يكون التحميل على المحرك الكهربي تحميل جزئي. توجد أسلاك أخرى على طول مسار نظام الرفع خاصة بنظم التحكم التي توضع في الغرفة العلوية للمصعد، وتحتوي على الدوائر الكهربية لأجهزة التحكم، كما توجد أيضًا أسلاك متصلة بجانب المصعد، خاصة بنظم الأمان وتشغيل كابح للبكرة التي تلتف عليها أسلاك الرفع.

تكييف الهواء

يعتبر تكييف الهواء Air Conditioning تقنية وآداة لتنظيم حالة الهواء، وضبط درجة حرارته من أجل تزويد الجو المحيط بالإنسان بهواء مناسب لراحته، وكذلك من أجل حفظ الأجهزة، خاصة الأجهزة الإلكترونية التي تتأثر بدرجة الحرارة في مناخ مناسب لتشغيلها بأعلى كفاءة، تختص أجهزة التكييف بالتحكم في أربع خواص فيزيائية للهواء، وهي:

- درجة الحرارة.
- الرطوبة النسبية.
- توزيع واتجاهات حركة الهواء.
- جزيئات الغبار العالقة في الهواء.

بالإضافة إلى الخواص الأربع الرئيسية السابقة، فإن أجهزة التكييف قد تستعمل أيضًا للتحكم في ضغط الهواء، وتنقيته من أي روائح قد تكون عالقة فيه. إن أجهزة التكييف تستخدم بصفة عامة للتحكم في نوعية الهواء للوصول إلى الدرجة المرغوبة، وإلى المستوى اللائق والمطلوب لراحة الإنسان، ومن أجل العمل وبذل المجهود العضلي والعقلي في جو مناسب لتكوينه البيولوجي. انتشر استخدام أجهزة التكييف في العصر الحديث، وأصبح يستعمل بصورة واسعة، وخاصة في المحلات والمنازل،

وفي مركبات النقل والمواصلات، وفي دور الترفيه والمعارض، خاصة عند ارتفاع أو انخفاض درجات الحرارة إلى مستويات يصعب على الإنسان تحملها.

تاريخيًا، يمكن اعتبار أن الإنسان قد عمل على تكييف الهواء عندما أوقد إنسان الكهوف النار لتدفئة كهفه. عندما ظهرت الحضارات القديمة وتطورت تقنياتها، بدأ الإنسان في تصنيع المدفأة التي تعمل بواسطة حرق قطع الأشجار الجافة، أو بالفحم. صنع الإنسان بعد ذلك المواقد السيراميكية Cermaic Stoves، وصمم أماكن معيشته وعمله للحصول على تكييف طبيعي من خلال التحكم في دخول أشعة الشمس، وكذلك التحكم في انتقال وانتشار تيار الهواء داخلها. استعمل الإنسان أيضًا ريش الطيور، وسعف النخيل لصنع المراوح للتهوية. استغل الإنسان ظاهرة التبخير Evaporation - خاصة في الأجواء الصحراوية الجافة - باستخدام القماش المبلل بالماء، الذي يساعد على ترطيب الجو المحيط، وهو ما يسمى التبريد من خلال عملية البخر.

بدأ العلماء والمهندسون في العصر الحديث أبحاثهم في مجال تكييف الهواء، ولكن يمكن إرجاع المنظومة التكنولوجية الحديثة لأجهزة التكييف إلى المهندس الأمريكي ويليس كارير Carrier في بدايات القرن العشرين، قام كارير باستنباط العلاقات التي تحكم الطاقة الحرارية في الهواء وفي بخار الماء، واقترح بعض الخطوات المبسطة التي مكنت المهندسين من تصميم مكونات أكثر دقة وكفاءة لتصنيع أجهزة تكييف كاملة. بدأ العمل في تصنيع أجهزة التبريد في الولايات المتحدة في عشرينيات القرن الماضي، ثم بدأ في ثلاثينيات القرن العشرين في تصنيع أجهزة التكييف ذات منظومتي التسخين والتبريد.

تعمل مكيفات الهواء بصفة عامة من خلال عدة عمليات يتم فيها التبادل الحراري، لتسحب مروحة داخلية الهواء ليمر خلال -مرشح لمنع الأتربة من الدخول- ثم إلى مدخل المبخر Evaporator. يتمدد سائل مركب التبريد ذو الضغط المنخفض ويمتص الحرارة من الجو المحيط، فيتبخر ويتحول إلى غاز منخفض الضغط

عند وصوله إلى مخرج المبخر. يقوم الضاغط Compressor بسحب الغاز من المبخر خلال المجمع ثم يقوم برفع ضغطه، ويدفع الغاز ذو الضغط العالي إلى المكثف Condenser. ترتفع حرارة الغاز في المكثف، حيث يتكاثف ويصبح سائلاً ذا طابع عالٍ. في بعض دوائر التبريد، يتساقط هذا السائل من المكثف إلى خزان خاص، أما في الدوائر الأخرى، فإنه يلغي استعمال كل من خزان السائل وصمام Valve خط السائل. توجد وحدة تمدد بين المكثف والمبخر لتخفيض الضغط. عندما يدخل سائل مركب التبريد ذو الضغط العالي المبخر فإنه يتعرض لضغط أكثر انخفاضًا نظرًا لعملية سحب الضاغط والهبوط في الضغط الذي يحدث خلال وحدة التمدد، وبذلك يميل مركب التبريد إلى التمدد ويتبخر. يقوم سائل مركب التبريد بامتصاص الحرارة من الهواء الذي يمر فوق المبخر، وعندما تصل درجة حرارة إلى الدرجة المطلوبة فإن منظم التبريد Thermostat يفتح الدائرة الكهربية الخاصة بمحرك الضاغط، فيقف عن العمل، وعندما ترتفع درجة حرارة الهواء المار خلال المبخر فإن منظم التبريد يعيد إغلاق الدائرة الكهربية، وبالتالي يعيد تشغيل الضاغط، وتستمر الدورة.

صناعة المطاط

يستخلص المطاط Rubber الطبيعي من أشجار تنمو في المناطق الحارة التي ترتفع فيها نسبة الرطوبة، ويصل ارتفاع هذه الأشجار إلى حوالي ١٥ مترًا. وللمطاط خاصية غريبة وهي لدونتها العالية، بمعنى المرونة Elasticity، فالمطاط له القدرة على المط إلى عدة مرات طولها الأصلي والقدرة على الانكماش إلى حجمها الأصلي إذا توقفت عملية الشد. ومن هذه الخاصية اشتق اسم المطاط في اللغة العربية. أما الاسم في اللغة الإنجليزية فقد اشتق من قدرة هذه المادة على محو الكتابة خاصة «الأقلام الرصاص». والمادة الخام للمطاط الطبيعي تستجلب من عصارة لبن Latex شجر كان ينمو في شمال قارة أمريكا الجنوبية، قبل انتشار زراعته في أماكن أخرى من العالم. يوجد أيضًا في الوقت الحالي المطاط الصناعي، الذي يصنع من مواد خام مختلفة لكل منها خواص معينة، حسب الاستخدام التجاري للمطاط المصنع. تعتبر صناعة الإطارات والخراطيم والأحذية الكاوتشك من أهم الصناعات التي تستخدم فيها المطاط.

اكتشف المطاط من عدة قرون مضت -قبل اكتشاف القارة الأمريكية- بواسطة قبائل كانت تعيش في شمال أمريكا الجنوبية -المكسيك حاليًا- بعد أن عثروا عليه في صورة سائل يشبه اللبن، يتساقط من القشور الخارجية لبعض الأشجار، التي أطلق عليها «الخشب الباكي». تحول السائل بعد أن جف إلى مادة مرنة متجمدة ذات طبيعة غروية، ترتد فوق الأرض عند قذفها. نقل المكتشفين الأوائل لأمريكا هذه المادة إلى

أوروبا، فوجدوا أنها تمحو آثار الرصاص المكتوب فوق الورق، كما توصلوا إلى أن الملابس المغطاة بطبقة من هذه المادة تكتسب صفة المناعة ضد نفاذ الماء Waterproof، إلا أنها تلتصق بالأشياء الأخرى عند ارتفاع درجة الحرارة. استطاع المخترع الأمريكي تشارلز جوديير Goodyear أن يحل مشكلة عدم ملاءمة المطاط للصناعة بطريق الصدفة، فبينما كان جوديير يعمل في معمله بخليط من المطاط والكبريت إذ انسكب منه بعض من هذا الخليط فوق سطح ساخن، فلاحظ أن المطاط احتفظ بمرونته. استمر جوديير في تجاربه حتى توصل إلى النسب المثلى لهذه الخلطة التي أسماها Volcanized Rubber.

تبدأ صناعة المطاط بالحصول على السائل بإحداث فتحات في جذع الشجرة المعروفة باسم Hevea Brasiliensis، حيث يتساقط السائل قطرة قطرة، ويُجمع السائل في أوان خاصة ثم يُنقل إلى نقطة مركزية للتجميع. يصفى السائل من القاذورات ثم يضاف إليه كمية مماثلة من الماء، ويجري عليه عملية التخثر أي الترويب Coagulate Operation بإضافة محلول حامض معتدل بنسبة ١٪ مثل حامض الخليك Acetic Acid، أو حامض الفورميك Formic Acid، ثم يصب الخليط في صهاريج تحتوي على قواطيع، وتترك طوال الليل، فتتماسك جزيئات المطاط الدقيقة ويتحول السائل إلى عجينة مطاطية إسفنجية Spongy Rubber. تمرر العجينة بين عجلات خاصة تضغطها وتعتصر ما بها من الماء، ويخرج المطاط في صورة ألواح مجمدة. تجفف الألواح بوضعها في حجرات خاصة -تعرف بحجرات الدخان- لمدة أربعة أيام، ترتفع فيها درجة الحرارة تدريجيًا من ٤٠°م إلى ٦٠°م. يضاف إلى العجينة مواد أخرى حسب الاستخدام النهائي للمطاط، فمثلاً يمكن إضافة الكربون الأسود -مسحوق ناعم جدًا من الفحم- ليتحول المطاط الخام الأصفر اللون إلى اللون الأسود، ليستعمل بعد ذلك في صناعة الخراطيم وعجلات السيارات. يصنع الجزء الأساسي في العجلة من شرائح المطاط المسطح التي تتخللها حبال القطن أو الريون أو النايلون، لتمنح المطاط القوة والمتانة، ثم توضع العجلات في قوالب خاصة حيث تجرى لها عملية الفلكنة، وبعد ذلك تهذب وتنظف لكي تأخذ شكلها النهائي، ثم تقطع وفقًا للاستخدام المطلوب.

صناعة النسيج

تصنع المنسوجات Textile من خلال عمليات متعددة ومختلفة مثل : النسج Weaving ، التشبيك Netting ، الربط / الحبك Knitting ، الجدل Braiding. تختلف أيضًا المادة التي يصنع منها المنسوجات ، فقد تكون حريرًا Silk ، أو قطنًا Cotton ، أو صوفًا Wool ، أو كتانًا Linen ، أو من الرايون Rayon ، وهي مادة مصنعة من السيلولوز ، أو من النيلون Nylon. تعددت كذلك الآلات والتكنولوجيا الخاصة بصناعة المنسوجات ، ولكن ما زال الغزل Spinning ، والنسيج Weaving هما الأساس في هذه الصناعة.

يرجع تاريخ صناعة النسيج إلى تاريخ الإنسان نفسه منذ العصر الحجري الحديث Neolithic Period ، فالمنسوجات من الأساسيات التي يحتاجها الإنسان مع المأكل والمشرب والمأوى. بدأ الإنسان بسلخ جلود الحيوانات التي يصطادها ليستر بها نفسه ، ويحمي جسده من برودة الشتاء ، ومن أذى الأمطار. وجد الإنسان القديم أن صوف الأغنام يمده بالدفء ، فبدأ في جز صوفها ، ثم غزلها يدويًّا أو باستعمال تقنيات بدائية لشد الخيوط على نهايتي قطعة خشبية ليظهر الشكل الأول للنول Loom. مع ظهور الحضارات القديمة ، بدأ إنسان هذه الحضارات في تطوير النول. برع المصري القديم في

صناعة النسيج، فقد عثر علماء الآثار على نماذج من الكتان منسوجة من أربعة آلاف عام، وبلغت خيوطها من الدقة حدًّا لا يستطيع الإنسان أن يميزها من خيوط الحرير. لقد عرفت جميع الحضارات القديمة صناعة النسيج في نفس الوقت، وإن اختلفت مادة المنسوجات، فقد برع الصينيون في المنسوجات الحريرية، والهنود في المنسوجات القطنية.

يتكون القماش المنسوج عن طريق تعاشق مجموعتين من الخيوط بزوايا قائمة، تعرف الأولى باسم خيوط «السداء» وهي التي تكون أساسًا موضوعة على النول في وضع طولي، والثانية تعرف باسم «اللحمة» أو «الحذفة» والتي تكون موجودة بالمكوك أو ما يحل محله. والتعاشق هو أن يتم إمرار اللحمة تحت عدد معين من خيوط السداء وفوق الخيوط الأخرى، ثم يتبادل الوضع في اللحمات التي تلي ذلك. وأبسط أنواع التراكيب النسيجية هي التي يتم فيها إمرار خيط اللحمة الأول تحت خيوط السداء الفردية وفوق خيوط السداء الزوجية، ثم تتكرر هذه العملية في طول المنسوج ودائمًا ما تكون خيوط اللحمة محدودة بعرض القماش، وتحددها «الحواشي» أو «البراسل» على نهايتي خيوط السداء من الجهتين. تنشأ الحواشي عادةً بسبب مرور خيوط اللحمة من طرف النسيج إلى الطرف الآخر وبالعكس. ودائمًا ما تكون الحواشي أكثر تحملاً وقوة من النسيج نفسه لحمايته أثناء عملية النسيج، وتصنع باستخدام خيوط سداء سميكة، أو باستخدام خيوط رفيعة مزدوجة.

ظل الإنسان يستعمل النول اليدوي قرونًا طويلة قبل ميكنة صناعة النسيج. أدى اختراع الإنجليزي جون كاي Kay للمكوك الطائر Fly-Shuttle في عام ١٧٣٣ إلى زيادة سرعة النسيج، وذلك من خلال قيام الناسج بإطلاق المكوك ذهابًا وعودة عبر شبكة النسيج. وفي عام ١٧٣٨ اخترع الإنجليزي لويس بول Paul نظام لسحب ألياف القطن خلال زوج من البكر الأسطواني الشكل. طبق الإنجليزي ريتشارد اركريت Arkwright نظام بول في آلة الغزل التي اخترعها ذات الأربعة مغازل Spindles والتي تستطيع القيام بإنتاج أربعة أضعاف كمية الغزل من النول العادي. وتوالت الاختراعات، حتى تم صنع المغزل الآلي Mule في إنجلترا عام ١٨٣٠. حدثت

التطورات الهامة في تقنيات الغزل قبل منتصف القرن التاسع عشر، وكان آخر هذه التقنيات هي الشكل الدائري للغزل، والذي تم اختراعه في الولايات المتحدة في عام ١٨٢٨. ومع الزيادة المستمرة في تكلفة التشغيل خاصة العمالة، بالإضافة إلى التطور التكنولوجي في تصنيع الآلات مما أدى إلى زيادة سرعتها وكفاءتها، اتجهت مجهود المهتمين بهذه الصناعة في النصف الثاني من القرن العشرين إلى الإنتاج المكثف، واستخدام الحاسبات الآلية والتحكم الذاتي في تشغيل الآلات. وبالرغم من التطور التكنولوجي في هذه الصناعة إلا أن أساسيات هذه الصناعة لم تخرج من الخطوات التقليدية للنسج وهي، تكرار عملية طرح خيوط النسيج Shedding، والتقاطها Picking، ثم الضرب عليها Beating، لتتعاشق الخيوط مع بعضها، لإنتاج النسيج في صورته النهائية.

تعتبر الشعيرات Textile Fibers الوحدات الأساسية لتكوين الخيوط والمنسوجات. تعطي دراسة الشعيرات النسيجية المعلومات المختلفة التي على أساسها يتم اختيار الطرق التكنولوجية المناسبة للتشغيل. تختلف الشعيرات النسيجية في خواصها الأساسية مثل النعومة والمرونة والخواص الميكانيكية، وبذلك فإن خواص الأقمشة المصنوعة من هذه الشعيرات تختلف فيما بينها، ولكن تشترك في بعض الخواص مثل المتانة وسهولة الثني بحيث تأخذ الشكل الخارجي لجسم الإنسان بسهولة وتسمح بالحركة الحرة للجسم وأعضائه، كما أنها توفر الدفء للجسم وفي نفس الوقت لا تحبس الهواء عنه فتسمح له بالتنفس وتبخر العرق. تنقسم الشعيرات النسيجية التي تستعمل في صناعة الغزل والنسيج إلى قسمين رئيسين وهما:

١ـ الشعيرات الطبيعية Natural Fibers

مثل القطن والكتان والصوف والحرير الطبيعي، وهي ما تمدنا به الطبيعة سواء كان مصدرها النبات أو الحيوان أو من باطن الأرض.

وتنقسم الشعيرات الطبيعية إلى ثلاثة أقسام فرعية حسب طبيعة مصدرها وهي:

الشعيرات النباتية: وهي الشعيرات التي تنتجها النباتات المختلفة، ومنها البذرية مثل القطن، واللحائية مثل الكتان والجوت والتيل، والورقية مثل المانيلا والسيزال. تتكون جميع هذه الشعيرات من مادة السليلوز Cellulose وهي الجزء الأساسي من جدران خلايا النبات.

الشعيرات الحيوانية: مثل الصوف وشعر الماعز والجمال، والحرير الطبيعي الذي ينتج على شكل خيط رفيع من دودة القز، وتتكون جميع هذه الشعيرات من مادة البروتين.

الشعيرات المعدنية: وهذه الشعيرات محدودة الأهمية في صناعة الغزل والنسيج، والنوع الوحيد هو شعيرات الأسبستوس Aspestos التي توجد في بعض الصخور الطبيعية التي تستخرج من المناجم.

٢ـ الشعيرات الصناعية Man - Made Fibers

والشعيرات الصناعية هي التي يصنعها الإنسان من مواد لم تكن على شكل شعيرات. وتنقسم الشعيرات الصناعية إلى ثلاثة أنواع وهي:

شعيرات صناعية تحويلية Regenerated Fibers، وهي الشعيرات التي تصنع من مواد موجودة في الطبيعة، أي من بوليمر طبيعي مثل السليلوز أو البروتين، وتكون مادة السليلوز المستخدمة مثل لب الشجر، أما مادة البروتين فهي من اللبن أو فول الصويا. ومن الشعيرات التحويلية السليلوزية الحرير الصناعي أو الفسكوز Viscose ومن الشعيرات التحويلية البروتينية شعيرات الكازين أو الفيبرولين المشابهة للصوف، وشعيرات حرير البروتين المشابهة للحرير الطبيعي والذي أنتجته اليابان من اللبن كبديل للحرير الطبيعي.

شعيرات صناعية تركيبية Synthetic Fibers، وهي الشعيرات التي تصنع من بوليمر تركيبي من أحماض كيميّائية / بترولية، مثل شعيرات النايلون، والبوليستر،

والأورلون، والأكريلان، وغيرها.

شعيرات صناعية أخرى مثل شعيرات الزجاج، وشعيرات مصنوعة من المعادن، وشعيرات مصنعة من السيراميك وغيرها.

الهندسة الإنشائية

تعتبر الهندسة الإنشائية أو الهندسة المدنية Construction / Civil Engineering أكثر فروع الهندسة تنوعًا، فهي تختص بالتخطيط، والتصميم، والتشييد، والصيانة لأنواع مختلفة من الإنشاءات والمرافق. تشمل هذه الإنشاءات: المنازل السكنية، والمباني المكتبية، والمصانع، والطرق، والمطارات، وخطوط السكك الحديدية، والكباري، والأنفاق، والمواني، ومد خطوط الأنابيب الخاصة بالمياه والمجاري والنفط والغاز، وخلافه. تضمنت الهندسة الإنشائية حديثًا فروع أخرى مثل البيئة، وهندسة المناظر والأشكال الطبيعية Landscape. لم يستعمل مصطلح الهندسة المدنية / الإنشائية قبل عام ١٧٥٠، حيث أطلق المهندس الإنشائي الإنجليزي جون سميتون Smeaton على نفسه مهندس أعمال مدنية Civil Engineer للتمييز بينه وبين مهندسي الأشغال العسكرية في ذلك.

يعتبر الهرم الأكبر الذي تم بناؤه منذ حوالي خمسة آلاف عامًا، من أعظم الإنشاءات التي قام بتشييدها البشر. استخدم قدماء المصريين الأساسيات الأولية في الهندسة مع الأجهزة البسيطة لبناء معابدهم وأهراماتهم. بلغ ارتفاع الهرم الأكبر ١٤٦،٦ مترًا، وتم تشييده من ٢،٢٥ مليون كتلة حجرية وبلغ متوسط وزنها ١،٥ طن. شيد قدماء المصريين أيضًا المعابد الضخمة والمسلات التي وصل وزنها إلى أكثر من ألف طن. مهد المصريون العديد من الطرق لنقل كتل الحجارة من المحاجر إلى مواقع

بناء الأهرامات. استخدم المصري القديم أدوات القطع المصنوعة من البرونز الصلد، والأسطوانات Rollers التي تنزلق عليها كتل الحجارة الكبيرة الحجم، والمطارق الثقيلة «المرزبة» Sledge، وأشكالاً مختلفة من الروافع Levers. اهتم المصري القديم بإقامة الجسور على الترع والقنوات، وتكسية جوانبها بالحجارة والطين، لحماية أراضيه الزراعية من غدر الفيضانات. شيد أيضًا سنوسريت الثالث سورًا حول بحيرة موريس -قارون- طوله حوالي سبعة وأربعين كيلو مترًا ليجمع فيها مياه منخفض الفيوم، وأصلح بعد بناء هذا السور حوالي خمسة وعشرين ألف فدانٍ، كانت قبل ذلك أرض مستنقعات غير صالحة للزراعة.

تفوقت الحضارة البابلية منذ حوالي أربعة آلاف سنة في عمليات الري والصرف وتم العصور على مخطوطات تدل على أن ملوك بابل قد شقوا القنوات، وشيدوا خزانات تلحق بهذه القنوات، كما قاموا بشق قناة تصل بين النهرين -دجلة والفرات- في عهد أنتمينا. بعد أن حقق حمورابي وحدة إمبراطوريته شق نهر حمورابي الذي كان يبدأ من نهر الفرات ثم يتجه نحو الخليج الفارسي. كانت القنوات تتطلب مجهودًا كبيرًا في صيانتها لأن الأرض كانت رخوة، والضفاف هشة. بنى البابليون أيضًا الجسور، والأرصفة الملاحية لاستقبال المراكب التي كانت تستخدم في النقل النهري. تميز حكم بنوخد نصر البابلي بحفر عدد كبير من قنوات الري، وكان الماء الزائد على حاجة الأرض ينصرف إلى شبكة من المصارف أو يخزن في خزانات لها فتحات يخرج منها إلى الحقول وقت الحاجة. وفي عهد سنحريب الآشوري أنشأ مجرى مائيًّا فوق قناطر لنقل الماء إلى نينوى من مكان يبعد خمسين كيلو مترًا، فكان أقدم مجرى مائيًا فوق قناطر عُرف في التاريخ.

برع الإغريق في العلوم الهندسية النظرية أكثر من اهتمامهم بالتشييد. كانت معظم المباني الإغريقية تبنى من الحجر الجيري Limestone، أما القصور والمعابد مثل البارثينون Parthenon هيكل الآلهة في مدينة أثينا فكانت تبنى من الرخام والمرمر. كانت أقطار أعمدة البارثينون تزداد قليلاً من قاعدته إلى وسطه، ثم تنقص كلما

ارتفع العمود، الذي يميل نحو مركز بهو الأعمدة. وكان سمك كل عمود في ركن البناء يزيد قليلاً على سمك سائر الأعمدة، وكل خط أفقي من قاعدة كل صف ومن الدعامة المرتكزة عليه، وينحني إلى أعلى حتى إذا نظرت إليه العين من أحد طرفي هذا الخط لم تستطع رؤية الطرف البعيد عنه. لم تكن واجهات البناء كاملة التربيع، ولكنها خططت بحيث تظهر لمن ينظر إليها من أسفل كأنها مربعة. ولم تكن كل هذه الانحناءات إلا تصحيحًا دقيقًا للخداع البصري، ولولاها لبدت قواعد صفوف الأعمدة منخفضة في وسطها ومائلة نحو الخارج. اهتمت الحضارة الرومانية في القرون الأولى بعد الميلاد بتمهيد الطرق، وتشييد الكباري، وشق القنوات، وبناء القنوات العلوية والمغطاة Aqueducts لنقل المياه من الأنهار إلى المدن التي كانت تعتمد على العيون والآبار. أقام مهندسي ذلك الوقت الصهاريج التي تستمد الماء من تلك القنوات، ومدت منها الأنابيب إلى المنازل وركبت عليها الصنابير. شيد الرومان المجرى الأكبر Cloaca Maxima لنقل مياهها القذرة، كما أنشئت مجار صغرى لصرف مياه الصرف.

عرفت أوروبا القرون الوسطى وعصر النهضة بناء القصور والكاتدرائيات الضخمة Cathedrals، والقلاع، والكباري الخشبية والحجرية والصخرية، مثل الكباري التي شيدت على نهر الرون في القرن الثاني عشر، وكوبري لندن القديم الذي شيد على نهر التيمز Thames في عام ١٢٠٩. نما الطلب تدريجيًا على الأشغال العامة - من طرق وكباري وقنوات وإمداد المياه - في إنجلترا وفرنسا، خاصة في القرنين السابع عشر، والثامن عشر. تفوقت فرنسا في مجال الهندسة المدنية، فأنشأت مدرسة عليا لتعليم الهندسة الإنشائية في عام ١٧١٦ لتعليم التقدم العلمي في بناء الكباري والطرق. أما في بريطانيا فقد تم تأسيس أول معهد خاص بالهندسة المدنية في عام ١٨١٨. في أوروبا، تم الفصل بين الهندسة الإنشائية والهندسة المعمارية بدءًا من منتصف القرن التاسع عشر، فاختصت الهندسة المعمارية بالجوانب المختلفة للتصميم المعماري، أما الهندسة الإنشائية فقد اختصت بالتشييد والبناء.

اختلفت مواد التشييد والبناء من أزمنة الحضارات الأولى، عن المواد التي تستعمل حاليًا. إذا كان الغرض من مواد البناء قديمًا هو إنشاء مبنى يأوي الإنسان إليه ليمارس حياته الخاصة، فإن مواد البناء حاليًا يجب أن يكون لديها خواص فيزيائية لِتَحَمُّل الأثقال والأحمال loads، والجهود Stresses الواقعة عليها دون حدوث تغيير ملموس في خواصها، ودون أن تتغير أشكالها، وثباتها وقوة تحملها على مدى العمر الافتراضي للمنشأ. عندما يتعرض عنصر أو عضو في منشأ أو هيكل ما، لحمل معين فإنه يتأثر به، فيحدث له تشويه، يختلف من التشويه المؤقت -حيث يعود العضو أو العنصر إلى طبيعته مرة ثانية بعد إزالة الحمل- إلى التشويه الدائم مثل الكسر والانهيار الكامل. قد يأخذ هذا التشويه شكل الثني، أو الالتواء أو المط. تعرف الخاصية التي تعود بالعنصر / العضو إلى حالته الأولى، بالمرونة Elasticity. إذا زاد التشويه -نتيجة لزيادة الأحمال أو تكرارها- لدرجة معينة، يصبح المنشأ عديم الفائدة، ويجب أن يتم إزالته. إن جميع المواد التي تستخدم في البناء المعماري والإنشاءات مثل: الأخشاب، والأحجار والطوب، والحديد والصلب، والخرسانات العادية والمسلحة، والألمونيوم، والبلاستيك، ... يجب عليها أن تحوى خاصية المرونة، ولكن لكل مادة مدى معين لِتَحَمُّل الأحمال والجهود الواقعة عليها والتي تؤثر فيها، ثم يحدث لها بعد ذلك انهيار يأخذ شكل الكسر، أو التغيير الدائم في خواص مواد البناء بحيث لا تصبح لها جدوى أو نفع منها. خاصية أخرى يجب أن توجد في مواد البناء وهي الصلابة التي تجعلها تتحمل الضغوط والأحمال الواقعة عليها.

تتكون مواد البناء الأساسية من مواد طبيعية مثل الحجارة والأخشاب، وأخرى مصنعة مثل الطوب والقوالب الخرسانية والصلب. تعتبر الخرسانة مزيج من الرمل والزلط الصغير Gravel و الأسمنت البورتلاندي والماء. والأسمنت البورتلاندي نوع من الأسمنت Cement يتصلب في وجود الماء، وهو المادة الناتجة من طحن الكلنكر Clinker «الأسمنت الخام» الذي ينتج من حرق مخلوط من المواد الجيرية والطينية بنسبة معينة، لدرجة حرارة معينة مع خلطه بالجبس. والمواد المختلفة المستعملة في صناعة

الأسمنت هي المواد الجيرية مثل كربونات الكالسيوم في شكل حجر جيري والتي يستخلص منها أكسيد الكالسيوم، والمواد الطينية التي تحوى أكسيد الألومنيوم وأكسيد السيلكون، والجبس وهو كبريتات الكالسيوم، ويضاف الرمل أحيانًا للوصول بالسيلكا إلى النسبة المطلوبة وهي حوالي ٢٢٪، وبعض مصادر الحديد للحصول على أكسيد الحديد مثل بيريت الحديد، وبعض مصادر أكسيد الألمونيوم مثل البوكسيت.

تتلخص الخطوات التكنولوجية المستعملة في صناعات الأسمنت في ثلاث عمليات رئيسية وهي:

١- تجهيز الخامات وتحضير الخلطة: في الطريقة الجافة يتم تكسير الخامات في كسارات ثم تجفف في الهواء تمهيدًا لنقلها إلى الأفران. أما في الطريقة المبللة، فتطحن كل خامة على حدة في كسارات ثم توضع في طواحين مع الماء، ثم تخلط في خلاطات بالنسب المطلوبة ثم تنقل إلى الأفران.

٢- حريق الخلطة وتكوين الكلنكر: يحرق خليط من كربونات الكالسيوم والطين في أفران أسطوانية دوارة، تلف حول محور مائل بمعدل لفة كل ٢٥ ثانية في درجات حرارة تتراوح بين ١٤٠٠ – ١٥٠٠° م. يبلغ طول الفرن من ٥٠ إلى ١٥٠ متر، وعرضه ٢–٥ مترًا. يتفاعل أكسيد الكالسيوم في الفرن مع أكسيد الألمونيوم وأكسيد السيليكون، مكونًا مركبًا جديدًا وهو الكلنكر المحروق أو الأسمنت الخام الذي يحصل عليه من أسفل الفرن. تستغرق دورة التصنيع من اثنين إلى ثلاث ساعات. والكلنكر الناتج عبارة عن كرات صغيرة صلبة ومستديرة، وحجمها من ١/٨ إلى ٣/٤ بوصة ولونها أخضر مسود أو بني غامق، ويبرد بسرعة.

٣- طحن الكلنكر مع الإضافات: يخلط الكلنكر بنسبة ٣٪ جبس «كبريتات الكالسيوم» للتحكم في سرعة الشك، ثم يطحن المخلوط طحنًا ناعمًا جدًا. يعتمد نوع الأسمنت على مقدار النعومة، إذ إن النشاط الكيميائي للأسمنت يتناسب طرديًا مع مساحة السطح بالنسبة للوحدة الوزنية.

عند خلط الأسمنت بالماء سواء أكان وحده أو مع الرمل، والحجر أو الزلط، لعمل الخرسانة، فإنه يشك في مدى ساعات قليلة، ويتحول إلى كتلة صلبة تشتد صلابتها باضطراد على مدى أعوام عديدة.

الاتصالات

حدثت التطورات التكنولوجية في مجال الاتصالات Communication في عهد متأخر نسبيًّا عن المجالات الأخرى مثل التصنيع والنقل. ابتداءً من منتصف القرن التاسع عشر ظهرت النقلات بل القفزات التكنولوجية في مجال الاتصالات باختراع التلغراف، والتليفون، والراديو، والتليفزيون، والكمبيوتر. بالرجوع قليلاً إلى ما قبل الثورة العلمية والاختراعات والابتكارات، نجد أن اختراع الطباعة بالأحرف المتحركة قد أدى إلى رواج الكتب والدوريات بدءًا من القرن السادس عشر، فانتشرت المعلومات الأدبية والعلمية، ولكن لم يحدث الاتصال المباشر إلا في القرن التاسع عشر بعد اكتشاف الكهرباء، والاختراعات المترتبة على الكهرباء.

بعد أن اكتشف فاراداي العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية، تبين إمكان إحداث انحراف لإبرة عن طريق تمرير تيار كهربي في سلك، مما أدى ذلك إلى اختراع التلغراف الكهربي الذي طبق في شبكات السكك الحديدية لتحسين وسائل إعطاء الإشارات. قام الأمريكي صمويل مورس بتصميم شفرة لإشارات التلغراف الكهربي تتألف من النقطة والشرطة. في النصف الثاني من القرن التاسع عشر انتشر التلغراف في الدول الأوربية، وأصبحت جميع العواصم الأوربية على اتصال كامل بعضها ببعض. لم تقتصر فائدة نظام الاتصالات الجديدة على المعلومات الخاصة بالتجارة والأعمال، فقد ظهرت وكالات الأنباء مثل وكالة رويتر للأنباء، لاستثمار إمكانيات التلغراف

الكهربي. اتسع نطاق استعمال التلغراف باطراد، بعد أن تم بنجاح مد كابلات عبر المحيطات في عام ١٨٦٦. أمكن استثمار شبكات التلغراف لنقل الكلام على نحو مباشر بعد أن اكتشف الأمريكي الكسندر جراهام بيل وسائل تسجيل الصوت على تيار كهربائي في عام ١٨٧٦. وفي عام ١٨٧٨ اخترع هوجيس المكبر الصوتي الكهرومغناطيسي (الميكروفون)، ليكتمل بذلك شكل الهاتف (التليفون)، ذلك لأنه من دون جهاز التكبير، كان تيار الصوت الناتج عن جهاز بيل ضعيفًا جدًّا عند الاتصال عبر مسافات طويلة.

جاءت الطفرة التالية في تطوير مجال الاتصالات بالاتجاه إلى الاتصال اللاسلكي Wireless، والذي قام على أبحاث عالم الفيزياء كلارك ماكسويل في القرن التاسع عشر. اكتشف ماكسويل العلاقة بين الضوء والظواهر الكهرومغناطيسية في سبعينيات هذا القرن، مما أدى إلى التنبؤ باستخدامها في نقل الرسائل. في عام ١٨٨٥ تأكدت تنبؤات ماكسويل بفضل التجارب التي قام بها العالم الألماني هيرتز، والذي قام بتوليد تيار كهربي داخل دائرة توالفت مع دائرة إرسال أخرى منفصلة. في نهاية عام ١٩٠١ نجح المهندس الإيطالي ماركوني الذي كان يعمل في بريطانيا مع مكتب البريد العام في إرسال أول إشارة لاسلكية عبر المحيط الأطلنطي.

كانت عملية الاتصال اللاسلكي مشفرة مثل التلغراف، كما كانت الإشارات اللاسلكية ضعيفة. هيأ استخدام الصمام الثرميوني Thermionic Valve إمكانية تكبير الإشارات وتصحيحها، وأصبح بالإمكان نقل الأصوات إلى الأذن واضحة وعالية عن طريق جهاز استقبال هاتفي معدل. اشتق هذا الصمام من الفتيلة المتوهجة للمصباح الكهربي الذي اخترعه توماس إديسون، وجوزيف سوان عام ١٨٨١. لقد أدى البحث التجريبي المكثف لاكتشاف أفضل فتيلة إلى الملاحظة التي رصدها إديسون، وهي أنه حين تشتعل الفتيلة لساعات طويلة داخل فراغ المصباح الكهربائي، يحدث نوع من السواد داخل جدران المصباح. أرجع الباحثون هذه الظاهرة -والتي سميت بظاهرة إديسون- إلى تيار عشوائي من الإليكترونات الحرة

المنطلقة من الفتيلة المتوهجة (الكاثود أو القطب السالب) إلى داخل المصباح، واكتشف بعد ذلك إمكانية استخدام هذا التيار الضعيف خلال اسطوانة معدنية موجودة داخل المصباح (الثنائي) عندما تضبط بمساعدة صفيحة أخرى، إذ يكون المصباح في هذه الحالة ثلاثيًّا. وهكذا يصبح بالإمكان تلقي رسائل صادرة من مسافات بعيدة وتكبيرها. كان ثمرة هذه الأبحاث والاختراعات، إدخال نظام الإذاعة كوسيلة عامة للاتصال الجماهيري في عشرينات القرن العشرين. بدأ بعد ذلك الإنتاج الكبير لأجهزة اللاسلكي المجهزة بصمامات ثرميونية والتي تستمد التيار الكهربي من بطارية.

أدى البحث الخاص بتفسير ظاهرة إديسون إلى تطوير أنبوبة أشعة الكاثود، ومن ثم إلى اختراع التليفزيون. في عام ١٩٢٦ أثبت المخترع الإسكتلندي جون بيرد إمكانية نقل الصورة البصرية. استخدم بيرد طريقة ميكانيكية لمسح الموضوع المطلوب نقله عبر سلسلة من الثقوب في قرص دوار، على ألا يتحرك الموضوع المنقول حركة سريعة جدًّا. استخدمت طريقة بيرد في الإرسال التليفزيوني في بريطانيا، ثم بدأت شركة ماركوني في ألمانيا عملية تطوير طريقة أخرى أكثر تطورًا للمسح الإليكتروني، والتي سرعان ما حلت محل نظام بيرد. بدأ العمل في خدمات التليفزيون في ثلاثينيات القرن العشرين، واستمر تطوير هذه التكنولوجيا بعد الحرب العالمية الثانية، وبدأ استخدام الصور الملونة، ثم استخدم الاتصال بواسطة الأقمار الصناعية.

أثمر التعاون الوثيق بين العلم والتكنولوجيا في الحضارة الحديثة -بعد إنتاج الصمام الثرميوني، وأنبوبة أشعة الكاثود- إلى التوصل إلى ابتكارات جديدة مثل الرادار والترانزستور Transistor، ثم الحاسب الإليكتروني Computer، والتليفون الخلوي Cellular. إن الرادار في جوهره تقنية خاصة بموجات اللاسلكي الارتدادية، والمرتدة عن شيء ما بهدف كشف الإشارة العائدة، ومن ثم يحدد موقع هذا الشيء. تطور الرادار كوسيلة لتسجيل موقع الطائرات خلال الحرب العالمية الثانية، ولكن سرعان ما انتشر كأداة ملاحية هامة في مجال الطيران.

الدوائر الإليكترونية المتكاملة

تعتبر الدوائر المتكاملة Integrated Circuits من أحدث التكنولوجيات الحديثة، ومن أعظم ما توصل إليه العقل البشري حتى الآن. تم تصنيع الدوائر المتكاملة لأول مرة في شركة تكساس للأجهزة بواسطة جاك كلبي في عام ١٩٥٨، وهي تعتبر بداية الثورة الصناعية الثانية القائمة على الصناعات الإليكترونية، لكونها أساس إدخال التكنولوجيا الحديثة في صناعات عديدة مثل الحاسبات الإليكترونية والساعات وآلات التصوير والسيارات والطائرات ومركبات الفضاء والإنسان الآلي وأجهزة الاتصالات، وغيرها من مختلف المجالات الأخرى. تتكون الدوائر المتكاملة من مجموعة من الترانزستورات متصلة ببعضها، تعمل عمل الدايود والمقاومات والمكثفات، وتركب فوق شريحة من السيليكون مساحتها سنتيمتر مربع أو أكثر قليلاً، وتحمل من مئات إلى الآلاف من الدوائر الكهربية. ولتصنيع الدوائر المتكاملة ترسب طبقات رقيقة جدًّا لعمل الدوائر الكهربية المطلوبة لأداء مهام معينة. ويتم تصنيع تلك الدوائر على كل طبقة من الطبقات المُرسَّبة بواسطة الحفر، باستخدام مادة حساسة للضوء تغطى بها الطبقة المُرسَّبة ويتم من خلالها عملية الحفر باستخدام أحماض معينة مثل حامض الهيدروفلوريك.

الترانزستور Transistor هو جهاز إليكتروني صغير يعمل كمكبر للجهد Voltage Amplifier أنتج تجاريًّا عام ١٩٤٠، ويصنع من رقائق Wafer من مادة شبه موصلة

Semiconductor، تكون في الغالب من الجرمانيوم Germanium وهو عنصر فلزي، أو السيليكون Silicon. يتكون الترانزستور من وصلتين من نوع p - n تكونان معًا وصلة: موجب -سالب- موجب، أو p-n-p. يسمى الطرف الموجب بالمجمع Collector، ويسمى الجزء الأوسط n بالقاعدة Base، أما الطرف الموجب الثاني فيسمى بالباعث Emitter. بالإضافة إلى الوظيفة الرئيسية للترانزستور، فإنه أيضًا يمكن القيام بمهام أخرى مثل التذبذب الإليكتروني Electronic Oscillation، وكمفتاح صمامي إليكتروني Electronic Switching، وكمقوم لضبط الجهد الناتج Controlled Rectifier، وفي التحكم الآلي. أما الدايود الباعث للضوء Light Emitting Diode، والذي يستخدم في مجالات عديدة فهو عبارة عن وصلة p-n. عندما يسقط إليكترون من أسفل طبقة التوصيل في شبه الموصل في فجوة موجبة في أعلى نطاق التكافؤ تنبعث طاقة تسمى طاقة الفجوة التي تفصل بين منطقة التوصيل ومنطقة التكافؤ. تتحول هذه الطاقة إما إلى حرارة تؤثر على تذبذب الشبكة، أو إلى موجات كهرومغناطيسية في بعض أشباه الموصلات. ولكي يكون الضوء المنبعث من الدايود في مجال الضوء المرئي تصنع المادة شبه الموصلة من خليط من Ga-As-p. وباختيار نسب معينة من الزرنيخ والفوسفور يمكن التحكم في اتساع الفجوة بين نطاقي التوصيل والتكافؤ ومن ثم اختيار الطول الموجي المطلوب. ويستخدم الدايود الباعث للأشعة في المنطقة تحت الحمراء بكثرة في أجهزة الاتصالات الضوئية باستخدام الألياف البصرية. ويمكن صنع دايود باعث للضوء ينتج أشعة الليزر ويسمى في هذه الحالة بدايود الليزر Laser Diode.

الحاسب الآلي

الحاسب الآلي أو الكمبيوتر Computer هو في الأساس آلة حاسبة لأداء عمليات حسابية مثل الجمع والطرح، ثم تطور استخدامه لتوظيفه في عمليات أخرى. صنع الرياضي الفرنسي باسكال Pascal في عام ١٦٤٢ أول آلة تقوم بعمليات الجمع، على شكل عجلات مسننة تمثل الأرقام من صفر إلى تسعة، ومتصلة بحيث تستطيع إجراء عمليات الجمع الرياضية. وفي عام ١٦٧٠ طور الرياضي جوتفريد Gottfried من آلة باسكال لتستطيع إجراء عمليات الضرب أيضًا. وفي خلال القرن التاسع عشر استطاع أستاذ الرياضيات البريطاني تشارلز باباج Babbage أن يبتكر آلة «تحديد الفارق» والآلة التحليلية لأداء عمليات رياضية معقدة. يرجع الفضل إلى استخدام البطاقات المخرمة Perforated Cards في التحكم في تشغيل الآلة الحاسبة، إلى المخترع الفرنسي جوزيف جاكوار في الربع الأول من القرن التاسع عشر.

في بداية تسعينيات القرن التاسع عشر طبق المخترع والمهندس الأميركي هيرمان هوليرث Hollerith نظام البطاقات المخرمة في تسجيل الإحصاء القومي الأمريكي لعام ١٨٩٠. ظهر بعد ذلك نظام المنطق الرياضي الذي وضعه عالم الرياضيات البريطاني جورج بول، والذي عبر عن القضايا المنطقية في صورة متوالية من الأعداد الثنائية، تتمثل في الصفر أو الواحد فقط. طبق هذا النظام كلود شانون في معامل تليفون بيل عام ١٩٣٩، مستخدمًا حالة الكهرباء: إما فعال كهربيًّا، أو ملغي كهربيًّا، وذلك

تمثيلاً لحالة الواحد الصحيح والصفر. استخدمت هذه الآلة في فك الشفرات خلال الحرب العالمية الثانية. استطاع العلماء في عام ١٩٤٣ أن يطوروا آلة شديدة التعقيد لتساهم في عمليات فك الشفرة، مستخدمين ألف وخمسمائة صمام ثرميوني، فكانت هذه الآلة هي أول كمبيوتر رقمي ذاتي التشغيل ذي كفاءة في تشغيله. استطاع العلماء الأمريكيون في الوقت نفسه أن يطوروا حاسبًا ثنائيًا في معامل شركة بيل يستخدم مرحلات الهاتف . في الوقت ذاته كان فريق من العلماء والمهندسين يقومون بنفس العمل في مؤسسة هوليرث، والتي عرفت بعد ذلك باسم IBM. قام أيضًا هوارد ايكن Aiken الرياضي بجامعة هارفارد مع مجموعة من معاونيه من تصنيع حاسب آلي في أربعينيات القرن العشرين، يعمل من خلال تعليمات ممثلة في شريط من الورق المثقب، ويستطيع أن يقوم بإجراء عملية جمع لعددين مكونين من ٢٣ رقمًا لكل منهما، في حوالي ثلث الثانية، كما يستطيع إجراء عملية ضرب في حوالي ست ثوانٍ. سمي حاسب ايكن الذي بدأ في تشغيله عام ١٩٤٤ «الحاسب تلقائي التسلسل المنضبط» Automatic Sequence Controlled Calculator، وكان يحمل الاسم المختصر Mark I.

حدث تطوير سريع وهائل في مجال الإليكترونيات بعد الحرب العالمية الثانية، مما أدى إلى تصنيع أول حاسب إلكتروني في عام ١٩٤٦، في جامعة بنسلفانيا الأمريكية بواسطة المهندسين الأمريكيين جون ايكرت Eckert، وجون موشلي Mauchly، والذي سمي Electronic Numerical Integrator and Computer - ENIAC والذي يحتوي على ثمانية عشر ألفًا من الصمامات المفرغة Vacuum Tubes، والذي يستطيع أن يقوم بخمسة آلاف عملية جمع، ومن ٣٦٠ إلى ٥٠٠ عملية ضرب في الدقيقة الواحدة. في عام ١٩٤٥ تم تصنيع الحاسب المخزن فيه برنامج تشغيله، والمبني على فكرة الرياضي جون نيومان Neumann. وفي عام ١٩٤٨ تم تطوير أول لغة برامج Programming Language للحاسب الآلي بحيث يقوم الحاسب بتفصيص هذه اللغة على تعليمات يقوم بتنفيذها.

بدأ ظهور جيل ثانٍ من الحاسبات الآلية بعد عام ١٩٤٨، يعتمد في تشغيله على الترانزستور Transistor وليس على الصمامات، جاء تشغيل الترانزستور في الحاسبات من خلال أبحاث جون باردين، ووالتربراتين، ووليام شوكلي، وجميعهم يعملون في معامل بيل. أصبح في الإمكان تصنيع حاسبات آلية بأحجام أصغر، وأداء أفضل، وسرعة عالية، وبذلك انتشر استخدام الحاسبات خاصة في المؤسسات والشركات الكبرى، وفي معامل الأبحاث وفي الجامعات الأوروبية والأمريكية.

جاء الجيل الثالث من أجهزة الكمبيوتر مع استحداث دائرة التكامل Integrated Circuit، والتي تسمح بأداء الأعمال التي كانت تستلزم معدات كثيرة وضخمة، بواسطة قطعة صغيرة من أشباه الموصلات -الشريحة الدقيقة- مع صف من الترانزستورات الدقيقة، والمطبوعة أو المحفورة عليها. حصل الأمريكي كيلبي في عام ١٩٥٩ على براءة الاختراع عن دائرة التكامل، وسرعان ما طبَّقت شركات الكمبيوتر هذا الاختراع في صناعة أجهزتها. تطورت تكنولوجيا تصنيع الحاسب الآلي في العقدين الماضيين بطريقة مذهلة، وظهر الجيل الرابع ثم الخامس، مع زيادة سعات الكمبيوتر وزيادة سرعاته، وظهر الكمبيوتر الشخصي Personal Computer بأحجامه الصغيرة، وانتشرت هذه الأجهزة بشكل لم يكن في الإمكان توقعه، وواكب هذا التطور تطورًا آخر في تكنولوجيا المعلومات، لتكتمل منظومة متكاملة لحفظ وتحليل المعلومات، من أجل سرعة إنجاز الأعمال وكذلك دعم اتخاذ القرار.

تكنولوجيا المعلومات

إذا كانت البيانات Data هي المادة الخام من الرموز، أو الأرقام، أو توصيف الأشياء بصفة عامة، فإن المعلومات Information هي البيانات بعد تجميعها ومعالجتها من أجل عمليات اتخاذ القرارات. يستلزم إنشاء نظام متكامل للمعلومات، السير في عدة مراحل، أولها مرحلة تعريف المشكلة Problem Definition التي من أجله ينشأ النظام، ثم مرحلة دراسة جدوى الإنشاء Feasibility Study، فمرحلة تحليل النظام System Analysis، فمرحلة تصميم النظام System Design، وأخيرًا مرحلة تنفيذ النظام System Implementation.

تعتمد ذاكرة الإنسان على ثلاث عمليات وهي: تنظيم المعلومات، اختزان المعلومات، وأخيرًا استرجاعها، إن الطريقة التي ينظم بها العقل المعلومات التي يكتسبها من البيئة تؤثر في مقدرته فيما بعد على استرجاع تلك المعلومات. إن قدرة الذاكرة البشرية على التعامل مع المعلومات تنظيمًا وتخزينًا واسترجاعًا ما زالت محدودة، لذا يصبح مضيعًا للوقت والجهد استخدام الذاكرة البشرية في تخزين كم هائل من المعلومات. لقد توصل الإنسان إلى حفظ المعلومات في الورق، وعلى الشرائط المغنطة، ثم توصل أخيرًا إلى اختراع الحاسب الإلكتروني الذي يحوي سعة كبيرة في حفظ المعلومات، وسرعة في استرجاعها بالإضافة إلى الكم الهائل من العمليات الحسابية التي يستطيع القيام بها. أصبح عقل الإنسان ثروة وقوة تستثمر في

الإبداع، والاكتشاف، والاختراع، تاركًا العمليات النمطية إلى محدودي الذكاء وإلى حاسبات آلية تقوم بهذا العمل بسرعة لا تقارن بسرعة الإنسان. لقد تطورت تكنولوجيا المعرفة والمعلومات في العقود القليلة الماضية، وخطت خطوات واسعة من خلال زيادة سرعة الحاسبات الإلكترونية وقدرتها الاستيعابية.

تتشكل الملامح العامة لتكنولوجيا المعلومات في العناصر التالية:

الأجزاء المادية للحاسب Computer Hardware

مكونات الحاسب المادية هي الأجزاء المادية المكونة لجهاز الحاسب، وتشمل أجهزة الإدخال، وأجهزة الإخراج، وأجزاء الحاسب الداخلية مثل المعالج الدقيق Microprocessor، والذاكرة Memory، والدوائر الإلكترونية Electronic Circuits، وخلافه.

التحكم الأتوماتيكي Automatic Control

هي عملية التحكم والإشراف على تنفيذ الأوامر التي يتم إدخالها إلى الحاسب. أيضًا يقوم التحكم بإدارة البيانات الداخلة والخارجة إلى الحاسب، وتشغيل مكونات الحاسب المختلفة.

الاتصالات Communications

وهي تعني وسائل نقل البيانات بين أماكن معالجة البيانات المختلفة، أي إنها تربط بين المستخدمين وبين وحدة المعالجة المركزية (Central Processing Unit (CPU.

البرمجيات Computer Software

وهي البرامج التي توجه الحاسب لتنفيذ العمليات المطلوبة. تنقسم البرامج إلى نوعين: أولاً برامج النظام System Software وهي برامج تقوم بتجهيز الحاسب والمكونات الأخرى المرتبطة به للعمل. ثانيًا برامج التطبيقات Application Software وهي برامج تصمم لتنفيذ وظائف إدارية أو علمية محددة.

يمكن ربط أكثر من حاسب من خلال ما يسمى شبكة حاسبات Computer Network، فإذا كانت الحاسبات موجودة في نفس الموقع فتسمى شبكة محلية Local Area Network-LAN. أما إذا كانت موزعة في أماكن متفرقة ومتباعدة، فيمكن ربطها عن طريق وسائل الاتصالات مثل التليفون وتسمى في هذه الحالة بالشبكة الواسعة المدى Wide Area Network-WAN. تستخدم الشبكات الأخيرة في كثير من التطبيقات: مثل نظم حجز الطائرات أو القطارات أو الفنادق، وفي البرامج التعليمية والأخبار، وفي البريد الإلكتروني الذي يتيح لمستخدم الحاسب في مراسلة مستخدم آخر. تتكامل عناصر الشبكة في منظومة تخدم المعلومات، في سرعة أدائها، وكمية المعلومات المتداولة، وقدرتها على التحليل من خلال البرامج العديدة العالية التقنية مثل برامج الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence. لقد حولت تكنولوجيا المعلومات والاتصالات العالم إلى قرية صغيرة يتحاور سكانها من خلال شبكات معلومات تنقل المعلومة بواسطة أجهزة الهاتف، بسرعة وكفاءة عالية.

للذكاء الاصطناعي محاولات عديدة لإكساب الحاسب القدرة على الحدس Heuristics، والاستدلال Inferencing، والمعالجة المرمزة Symbolic Processing، ومطابقة الصور Pattern Matching. إن الحدس هو عملية يقوم بها العقل للتوقع المستقبلي للأحداث، إنها عملية قائمة على حسابات منطقية يستطيع العقل القيام بها نتيجة لخبرات سابقة اكتسبها من البيئة المحيطة عبر مسيرته الحياتية، فتوقع الوقت اللازم للوصول إلى العمل، أو نتيجة اختبار فرد ما معلوم قدراته لدينا، أو توقع رد فعل الغير على عرض مشكلة ما، كلها أمور قائمة على الحدس. أما الاستدلال فهو عملية تقوم أيضًا على الاستنتاج المنطقي، فعندما نخطئ في معظم الإجابات في أي اختبار فإننا نستدل من ذلك الرسوب قبل ظهور نتيجة الاختبار. تستخدم الرموز، أو مجموعة من الحروف للحصول على علاقات لها معنى، وعند تمثيل هذه العلاقات في برامج ذكاء اصطناعي تكون ما يسمى بالتراكيب الرمزية، وعند تناول الحاسب لمشكلة يقوم البرنامج بمعالجة هذه الرموز لينتج عنها معلومات يتم تمثيلها. وأخيرًا يتم

استخدام أسلوب معالجة الصور في اختبارات قوة الملاحظة بمطابقة الصور المعروضة مع الصورة الأصلية لاستنتاج الصور المتشابهة. لم تتوقف الأبحاث في مجال تطوير الحاسبات الآلية وبرامجها، فقدرات الإنسان هائلة، ومن الصعب تحديد نهايات أبعادها. إن الذكاء الاصطناعي هو علم تجسيد التداخل والتلاحم بين العلوم الطبيعية والتطبيقية والإنسانية، فهو علم يحاول تقليد قدرات الإنسان في التفكير، والتحليل والاستنتاج، وعلم المنطق في إجراء بعض عمليات الإدراك التي يجيدها الإنسان دون تعليم أو تدريب، حيث يقوم بها بشكل آلي.

تتغير نظم المعلومات أيضًا وفقًا لبيئة النظم الإدارية التي تعمل بها، والأهداف التي تسعى إلى تحقيقها. ومن النظم الرئيسية في المعلومات:

نظم معالجة البيانات Data Processing Systems

وهي نظم تستخدم الحاسب لمعالجة أحجام كبيرة من البيانات في صورة معاملات ترد بصفة دورية على النظام مثل نظم الأجور ونظم المخازن ونظم حسابات العملاء.

نظم معلومات الإدارة Management Information Systems

وهي التي توفر المعلومات اللازمة لعمل الإدارات المختلفة، وقد تتضمن عمليات تحليل القرارات، وعمليات صنع القرارات.

نظم مساندة القرارات Decision Support Systems

تصميم هذه النظم باستخدام أساليب وطرق بحوث العمليات Operation Research، وإيجاد الحلول المثلى، وذلك طبقًا للمراحل المحددة لاتخاذ القرار.

النظم الخبيرة Expert Systems

يعتمد تصميم النظم الخبيرة على الذكاء الاصطناعي، باستخدام الأسلوب العلمي المنطقي في البحث للوصول إلى حلول للمشكلة.

تكنولوجيا الاستنساخ

تستخدم كلمة الاستنساخ Clone في علم البيولوجيا بمعنى النسخة الوراثية المطابقة تمامًا لأحد الجزيئات، أو لخلية نبات أو حيوان أو إنسان. يعتبر وجود نُسخ متطابقة وراثيًا لكائنات حية بأكملها أمر شائع في علم النبات، ولكن يشار إلى هذه النسخ على أنها تنوعات Varieties بدلاً من نسائخ. ويتم الحفاظ على الكثير من السلالات النادرة عن طريق التكاثر من نبات أصلي، وتجديد نبات كامل من عقلة صغيرة. ولكن لا تسمح العملية الإنمائية في الحيوانات بسهولة الاستنساخ مثل ما يوجد في النباتات. إلا أن هناك أنواعًا كثيرة من اللافقريات البسيطة، مثل أنواع معينة من الديدان لها القدرة على أن تتجدد من قطعة صغيرة منها إلى كائن حي كامل، بالرغم من أن هذه الطريقة ليست هي الطريقة المعتادة في تكاثر اللافقريات. أما الفقريات فقد فقدت بالكامل هذه الإمكانية، وإن كان يمكن أن يحدث في بعض الحيوانات تجديد بدرجات مختلفة لأطراف، أو أعضاء، أو أنسجة معينة. وعلى الرغم من أن الحيوان الفقري البالغ لا يستطيع منفردًا أن يولد Generate كائنًا آخر بالكامل، إلا أن استنساخ الفقريات يحدث بالفعل في الطبيعة على نحو محدود من خلال ولادة أجنة متعددة معًا، وذلك عندما تتكون توائم متطابقة. تحدث التوائم صدفة في البشر والثدييات الأخرى، عند انقسام مضغة Embryo واحدة من الجنين المبكر -حتى أوائل الشهر الثالث من الحمل- إلى نصفين عند مرحلة مبكرة من النمو، وتكون الذرية

الناتجة متطابقة وراثيًّا حيث إنها مستمدة من لاقحة واحدة Zygote تنتج عن تلقيح بويضة واحدة بحيوان منوي واحد.

استنسخ علماء البيولوجيا الخلايا والجينات البشرية والحيوانية على المستوى الجزيئي والخلوي منذ عقود عديدة، وأجروا أبحاثًا عليها للحصول على الجينات والخلايا المتطابقة، حيث تكون كل خلية أو جزيء في تطابق مع الخلايا أو الجزيئات الأخرى. صنع العلماء معمليًّا نسخ من حامض دي أوكسي ريبونيوكلييك «الدنا»، وتم نسخ وتكثير أجزاء الدنا الحاوية جينات الخلايا البكتيرية. مع إتاحة كميات كبيرة من الدنا المتطابقة أصبح في الإمكان إجراء تجارب عملية عليها، ويطلق على هذه العملية «الاستنساخ الجزيئي»، وهي تعد أساس تكنولوجيا الدنا المتحدة Recombinant، والتي أدت إلى إنتاج أدوية مثل الأنسولين البشري لعلاج مرض «السكرى»، ومنشط بلازمينوجين الأنسجة الذي يذيب الجلطات عقب الأزمات القلبية، والإريثروبويتين الذي يعالج الأنيميا التي تصاحب عمليات الغسيل الكلوي.

توصل العلماء في أوائل الثمانينيات من القرن العشرين إلى شكل أكثر تعقيدًا لاستنساخ الحيوانات يسمى «استنساخ زرع النوى». تحوي الخلية الجسدية نواة ثنائية المجموعة، أي إنها تحتوي على مجموعتين من الجينات، إحداهما من الأم والأخرى من الأب. أما الخلايا الجرثومية فتحوي نواة أحادية المجموعة، أي جينات الأم أو الأب فقط. وفي استنساخ زرع النوى، تنزع النواة من بويضة لتحل مكانها نواة ثنائية المجموعة لخلية جسدية، وبذلك يمكن أن يوجد مصدر وراثي واحد (الأب أو الأم)، بخلاف التكاثر الجنسي حيث يتشكل الكائن الحي الجديد باندماج المادة الوراثية للبويضة مع الحيوان المنوي.

يلي إخصاب البويضات الثديية أن تحدث انقسامات متتالية للخلايا، وتمايز متصاعد، يبدأ أولاً في المضغة المبكرة ثم يحدث بعد ذلك تمايز في كل أنواع الخلايا التي تشكل الحيوان البالغ. عندما يتم نقل نواة واحدة في طور معين من النماء إلى

بويضة غير مخصبة أزيلت نواتها، فإن ذلك يؤدي إلى البحث فيما إذا كان قد ترتب على التمايز الخلوي في هذا الطور تعديل وراثي لا عكوسي. تمت أول ذرية تنشأ عن خلية متمايزة بإجراء عملية نقل نووي من خلط سلالة لخلايا مستمدة من المضغة، قد استحثت على أن تكون في حالة همود. أجرى عالم البيولوجيا أيان ويلموت مع زملائه في معهد روزلين باسكتلندا تطويرًا في التجارب التي أجروها لاستنساخ النعجة دوللي، وذلك باستخدام خلايا جسدية لغنم بالغة كمصدر للنواة الواهبة. لم تكن دوللي أول نسيخة ثديية تم إنتاجها في فبراير من عام ١٩٩٧، ولكنها فقط أول نسيخة من خلية بالغة، فقد نجح ويلموت وزملاؤه قبل ذلك من استنساخ الغنم من خلايا مضغة عمرها تسعة أيام، وجنين عمره ستة وعشرون يومًا، أما دوللي فقد نمت من خلية أخذت من الغدة الثديية لنعجة كاملة النمو، عمرها ست سنوات.

المراجـــع

١- «منظومة القوى» - د.محمد الجزار - مركز الكتاب للنشر- ٢٠٠٥.

٢- «ثورة العقل - تغيير واقع الكيان العربي» - د.محمد الجزار - مركز الكتاب للنشر- ٢٠٠٤.

٣- «تشكيل العقل الحديث»- كرين برينتون- ترجمة شوقي جلال -المؤسسة المصرية العامة للكتاب - ٢٠٠٤

٤- «نظرية النسبية» - ألبرت أينشتين - ترجمة د. رمسيس شحاته - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ٢٠٠٣.

٥- «الكون في قشرة جوز - شكل جديد للكون» - ستيفن هوكنج - ترجمة د. مصطفى إبراهيم فهمي - عالم المعرفة - الكويت - مارس ٢٠٠٣.

٦- «هذا هو علم البيولوجيا - دراسة في ماهية الحياة والأحياء»- أرنست ماير - ترجمة د.عفيفي محمود عفيفي - علم المعرفة - الكويت - يناير ٢٠٠٢.

٧- «استنساخ الإنسان - الحقائق والأوهام» - مارتاسي نسبوم، وكاس سانشتين - ترجمة د. مصطفى إبراهيم فهمي - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ٢٠٠٢.

٨- «الجينوم - السيرة الذاتية للنوع البشري» - مات ريدلي - ترجمة د. مصطفى إبراهيم فهمي - عالم المعرفة - الكويت - نوفمبر ٢٠٠١.

٩- «الكون - بداية.. نهاية» - د. محمد الجزار - مركز الكتاب للنشر - ٢٠٠١.

١٠-«الطاقة لعالم الغد» - فعالية الوضع الراهن - مجلس الطاقة العالمي - ٢٠٠٠.

١١-«عقل جديد لعالم جديد» - روبرت أورنشتاين وبول إيرليش - ترجمة الدكتور أحمد مستجير - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ٢٠٠٠.

١٢-«الفيزياء والفلسفة» - جيمس جينز - ترجمة د. جعفر رجب - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ٢٠٠٠.

١٣-«الهندسية الوراثية» - ويليام بينز - ترجمة د. أحمد مستجير - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ٢٠٠٠.

١٤-«الحياة في الكون» - د. جوهان دور شنر - ترجمة د. عيسى علي عيسى - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ٢٠٠٠.
١٥-«الآلة قوة وسلطة - التكنولوجيا والإنسان منذ القرن ١٧ حتى الوقت الحاضر»- أر. إيه بوكانان - ترجمة شوقي جلال - عالم المعرفة - الكويت - يوليو ٢٠٠٠.
١٦-«الفيزياء الحديثة - فيزياء القرن العشرين» - د. محمد محمود عمارة - ١٩٩٩.
١٧-«ضرورة العلم - دراسات في العلم والعلماء» - ماكس بيروتز - ترجمة وائل أتاسي، ود. بسام معصراني - عالم المعرفة - الكويت - مايو ١٩٩٩.
١٨-«تقدم الإنسانية» - جوردن تشيلد - ترجمة د. منى السيد غلاب - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ١٩٩٩.
١٩-«بلاد ما بين النهرين - الحضارتين البابلية والأشورية» - ل. ديلابورت -- ترجمة محرم كمال - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ١٩٩٧.
٢٠-«الفضاء الخارجي واستخداماته السلمية» - د. محمد بهي الدين عرجون - عالم المعرفة - الكويت - أكتوبر ١٩٩٦.
٢١-«إطلالات على الزمن الآتي» - د. السيد نصر الدين السيد - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ١٩٩٦.
٢٢-«المفهوم الحديث للمكان والزمان» - ب.س. ديفيز - ترجمة د. السيد عطا - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ١٩٩٦.
٢٣-«الزلازل - حقيقتها وآثارها» - د. شاهر جمال آغا - عالم المعرفة - الكويت - أغسطس - ١٩٩٥.
٢٤-«الصناعات الكيميائية التجارية - طلي المعادن» - المهندس عبد الكريم درويش - دار المعرفة - سوريا - دمشق - ١٩٩٥.
٢٥-«لغة الجينات» - ستيف جونز - ترجمة د. أحمد مستجير - المكتبة الأكاديمية - ١٩٩٥.
٢٦-«تاريخ العلوم والتكنولوجيا في العصور القديمة والوسطى» - د. مصطفى محمود سليمان - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ١٩٩٥.

٢٧-«أساسيات الفيزياء - الكلاسيكية والمعاصرة» - د. رأفت كامل واصف - دار النشر للجامعات المصرية - ١٩٩٤.
٢٨-«العرب وعصر المعلومات» - د. نبيل علي - عالم المعرفة - الكويت - إبريل ١٩٩٤.
٢٩-«النسيج اليدوي» - عصام ظاظا، سامي الحلاشة، شعبان عبد الفتاح - دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان - الأردن - ١٩٩٤.
٣٠-«الطاقة لعالم الغد» - مجلس الطاقة العالمي - ١٩٩٣.
٣١-«موسوعة تاريخ الحضارات العام» - أندريه إيمار وآخرين - ترجمة يوسف داغر وآخرين - دار منشورات عويدات - ١٩٩٣.
٣٢-«جولة في عالم الثدييات» - د. محمد رشاد الطوبي، ود. كمال ميخائيل واصف - أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا - ١٩٩٢.
٣٣-«العلوم الحياتية» - الدكتور إحسان محاسنة - دار الشروق للنشر والتوزيع - عمان - الأردن - ١٩٩٢.
٣٤-«قصة الحضارة» - ول ديورانت - ترجمة محمد بدران - دار الجيل - بيروت - ١٩٩٢
٣٥-«دائرة معارف الحاسب الآلي» - د. محمد فهمي طلبه وآخرين - مجموعة كتب دلتا - ١٩٩١.
٣٦-«موسوعة علماء الرياضيات» - د. موريس شربل -دار الكتب العلمية- بيروت ١٩٩١.
٣٧-«موسوعة علماء الفيزياء» - د. موريس شربل -دار الكتب العلمية- بيروت - ١٩٩١.
٣٨-«الفكر الأوروبي الحديث» - فرانكلين باومر - ترجمة د. أحمد حمدي محمود - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ١٩٨٩.
٣٩-«تبسيط الكيمياء» - فرد س. هيس - ترجمة وليم إبراهيم عوض - الهيئة المصرية العامة للكتاب - ١٩٨٩.
٤٠-«ضوئيات الكم والليزر» - الدكتور خالد عبد الحميد الخطيب، والدكتور وليد خلف حمودي - الجامعة التكنولوجية - بغداد - ١٩٨٩.

٤١-«الجسم البشري» - الدكتور فائز المط - مؤسسة الرسالة - بيروت - ١٩٨٩.
٤٢-«التأسيسات الكهربائية - مبادئ وتطبيقات» - د. مظفر النعمة، د. سنان محمود - دار الجيل - بيروت - ١٩٨٩.
٤٣-«العلاقة المتبادلة بين العبقرية والذكاء» - سمير عبده - دار الكتاب العربي - دمشق - ١٩٨٩.
٤٤-«الإبداع العام والخاص» - ألكسندرو روشكا - ترجمة د. غسان عبد الحي أبو فخر - عالم المعرفة - الكويت - ديسمبر ١٩٨٩.
٤٥-«الخامات النسيجية» - دكتور محمد أحمد سلطان - منشأة المعارف - ١٩٨٩.
٤٦-«موسوعة علماء الكيمياء» - يوسف أبي فاضل - جروس برس، مؤسسة مصر للتوزيع - ١٩٨٨.
٤٧-«الكيمياء الصناعية للمهندسين» - د. محمد محمد مجاهد، د. محمد يوسف بكر - دار الراتب الجامعية - بيروت - ١٩٨٨.
٤٨-«أساسيات علم القياس» - الدكتور محمد محمود عمارة - مطبوعات المعهد القومي للمعايرة - ١٩٨٨.
٤٩-«حوار مع أعضاء الجسم» - الدكتور سعيد الدجاني - دار الأندلس - بيروت - ١٩٨٧.
٥٠-«قصة الأنثروبولوجيا - فصول في تاريخ علم الإنسان» - د. حسين فهيم - عالم المعرفة - الكويت - فبراير ١٩٨٦.
٥١-«النواحي العلمية الحديثة في التبريد وتكييف الهواء» - مهندس صبري بولس - دار المعارف - ١٩٨٤.
٥٢-«الطاقة - مصادرها وقضاياها» - جماعة من الخبراء والمفكرين الفرنسيين - ترجمة د. ميشيل فرج - دار المعارف - ١٩٨٤.
٥٣-«العقل والمعايير» - أندريه لالند - ترجمة د. لطفي لوقا -الهيئة المصرية العامة للكتاب- ١٩٧٩.

٥٤-«عجائب الكيمياء» - إيرا فريمان - ترجمة عواطف عبد الجليل- دار المعارف - ١٩٧٩.
٥٥-«الكيمياء التحليلية الكمية» - د. فتحي أحمد عبد الحافظ - دار الهنا للطباعة - ١٩٦٠
٥٦-«الذكاء» - الدكتور فؤاد البهي السيد - دار الفكر العربي - ١٩٥٩.
٥٧-«تاريخ التكنولوجيا قصة الاختراعات وأشهر المخترعين» - إيجول لارسن - ترجمة د. مصطفى ماهر.
٥٨-«الهندسة الوصفية المجسمة» - دكتور محمد عبد الحميد الرقباوي - مطبعة جامعة عين شمس.
٥٩-«الجيولوجيا الهندسية» - د. فخري موسى نخلة، د. محب الدين حسين، د. حسين فهمي.

References:

1-"The Leader of the Future - New Visions, Strategies, and Practices for the Next Era" - Frances Hesselbein, Marchal Goldsmith, Richard Beckhard - Jossey Bass Publishers - San Francisco - U.S.A. - 1996.

2-"The Encyclopedia AMERICANA" - International Edition - American Corporation - Canada 1980.

3-"Probalility and Statistics for Engineers" - Irwin Miller, John Freund - Prentice - Hall Inc.- New Jersey - U.S.A - 1977.

4-"Time - Series" - M.G. kendall - Charles Griffin & Co. - London - England - 1973.

رقم الإيـــداع :
٢٠٠٥/ ١١٤٧٢
الترقيم الدولى :
977 - 294 - 346 - 8